



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**REFORMULAÇÃO DOS ROTEIROS DO  
LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE  
ENERGIA UTILIZANDO PBL**

Raquel Cardoso Reis

Brasília, Julho de 2017

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**REFORMULAÇÃO DOS ROTEIROS DO  
LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE  
ENERGIA UTILIZANDO PBL**

**Raquel Cardoso Reis**

*Relatório submetido ao Departamento de Engenharia  
Elétrica como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Eletricista*

Banca Examinadora

Prof. Rafael Amaral Shayani, ENE/UnB \_\_\_\_\_  
*Orientador*

Prof. Anésio de Leles Ferreira Filho, ENE/UnB \_\_\_\_\_  
*Co-orientador*

Prof. Humberto Abdalla Júnior, ENE/UnB \_\_\_\_\_  
*Examinador interno*

Prof. Pablo Eduardo Cuervo Franco, ENE/UnB \_\_\_\_\_  
*Examinador interno*

## Agradecimentos

*Este trabalho contou com várias contribuições. Quero agradecer ao Prof. Rafael Shayani pela orientação, pelos encontros semanais e por todo o feedback que sempre me passou. Também ao Prof. Mauro por ter me cedido material e ter me ajudado. Minha gratidão à toda equipe técnica do SG11, principalmente ao Carlos Mendonça pela ajuda durante os testes dos roteiros e também ao Prof. Ronaldo pelo suporte.*

*Quero agradecer aos meus pais, meus maiores exemplos. Obrigada por sempre acreditarem em mim. Amo vocês. Eu espero ser metade do que vocês são! Rafael, Renato, Mariane, Maria Eduarda e demais familiares, obrigada pela força!*

*E com certeza, eu não terminaria esse TCC se não tivesse amigos que me deram suporte durante toda minha trajetória na Universidade de Brasília. Em especial, Brunno, Marcos Paulo, Priscila, Nayara, Ana Paula, Gelli, Glenda e Victor Cristiano.*

*Obrigada, Senhor. Até aqui, tens me ajudado. À Ti, toda honra, toda glória e poder para sempre.*

*Raquel Cardoso Reis*

---

## RESUMO

O sistema educacional brasileiro como um todo está passando por grandes transições que terão impacto direto sobre a comunidade acadêmica, e a mesma precisa se atualizar para receber seus futuros membros. O aprendizado é uma via de mão dupla entre discente e docente, e é necessário um esforço de ambas as partes para que a formação do aluno seja genuína para sua inserção no mercado de trabalho. O objetivo do trabalho é fomentar o uso de abordagens educacionais atualizadas que incentivem o aprendizado ativo. Isso se dará pela exemplificação da disciplina do Laboratório de Conversão de Energia, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília, que terá seus roteiros modificados para uma abordagem em PBL (*Project Based Learning*). Assim, todos os ensaios terão um problema baseado em uma aplicação real de engenharia, em que os alunos devem exercer seu pensamento crítico para usar sua bagagem de conhecimento na prática.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2	OBJETIVOS DO PROJETO.....	2
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>9</b>
3.1	APRESENTAÇÃO DA DISCIPLINA.....	9
3.2	VISÃO DOS ALUNOS.....	12
3.3	MODELO PROPOSTO .....	13
3.4	ABORDAGEM DIDÁTICA .....	18
<b>4</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>20</b>
4.1	TESTE DOS ROTEIROS .....	20
4.2	DESAFIO PROPOSTO .....	23
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>26</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>31</b>
<b>I</b>	<b>ENSAIOS DO LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA.....</b>	<b>32</b>
<b>II</b>	<b>APÊNDICE A - GUIAS DE ESTUDO .....</b>	<b>89</b>
<b>II</b>	<b>APÊNDICE B - QUESTÕES PARA O MOODLE.....</b>	<b>96</b>
<b>II</b>	<b>APÊNDICE C - ROTEIROS.....</b>	<b>106</b>

# LISTA DE FIGURAS

2.1	Quadro resumo sobre evasão no curso de Engenharia Elétrica e na UnB .....	6
3.1	Bancada do laboratório com duas máquinas CC acopladas.....	9
3.2	Exemplo do roteiro da bomba hidráulica .....	15
3.3	Exemplo do roteiro de sistemas desconectados da rede .....	16
3.4	Esquemático da estrutura do Cine Pedal.....	17
3.5	Exemplo do roteiro de paralelismo com a rede.....	17
4.1	Circuito para obtenção da curva V.....	22
4.2	Curvas obtidas com os dados experimentais no laboratório .....	22
4.3	Montagem da primeira bancada .....	23
4.4	Montagem da segunda bancada.....	24
4.5	Montagem final.....	24

# LISTA DE TABELAS

2.1	Abordagem do Método Tradicional e do Método Invertido .....	8
3.1	Visão do modelo proposto .....	19
4.1	Tempo de execução de cada experimento no laboratório .....	21

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contextualização

No ano de 2016, o governo brasileiro aprovou a reforma na estrutura do Ensino Médio. Foi considerada uma das maiores mudanças na educação nos últimos 20 anos. Será investido mais de 1,5 bilhão nas escolas para se adequarem ao novo modelo. O tema ficou em destaque no cenário nacional com posições favoráveis e contrárias, o que acarretou inclusive em vários movimentos de protestos em todo país. Por que reformas educacionais são tão importantes e devem ocorrer ocasionalmente? [1]

Devido aos avanços tecnológicos, o conceito de escola e aprendizado vem se modificando rapidamente. Inclusão de tablets nas aulas do Ensino Médio e muitos cursos de graduação feitos à distância mostram como o desenvolvimento tecnológico influenciou inclusive na maneira de como as pessoas aprendem. Logo, as instituições de educação devem se adaptar às demandas aceleradas da sociedade [2]. Por isso, é cada vez maior a aderência do ensino híbrido nas escolas, onde o melhor do ensino tradicional é complementado por estratégias tecnológicas individuais de estudo [3].

A universidade geralmente é um preparatório para os desafios do mercado de trabalho. No caso de cursos de engenharia, que está diretamente ligado à tecnologia e inovação, essas mudanças ocorrem aceleradamente. A academia deve acompanhar estas transformações para gerar grandes profissionais para o país. Segundo o Conselho Nacional de Educação, na Resolução CNE/CES 11 de 2002, regulamenta as diretrizes curriculares nacionais do curso de graduação em engenharia:

Art. 3o O Curso de Graduação em Engenharia tem como perfil do formando egresso/profissional o engenheiro, com formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitado a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em



atendimento às demandas da sociedade.

A universidade deve ser o principal incentivador de soluções criativas para problemas existentes na sociedade e além disso, ser o celeiro de futuros grandes projetos. A Universidade de Brasília (UnB) nasceu em 1962 com a proposta de ser uma instituição com um espírito inovador. Os modelos propostos pelo antropólogo Darcy Ribeiro e pelo educador Anísio Teixeira tinham como base uma universidade livre onde o aluno não fosse dependente do professor e pudesse seguir segundo suas próprias experiências [4]. O modelo era muito revolucionário para a época em que foi implementado, mas se adapta evidentemente no contexto atual de globalização.

Mais especificamente, o curso de Engenharia Elétrica na UnB é conhecido pela sua formação generalista com conhecimentos básicos de eletrônica, controle e automação, sistemas elétricos de potência e telecomunicações. São 262 créditos no total, sendo 80,5% de matérias obrigatórias. Fica pela escolha do próprio aluno a área de aprofundamento por meio das matérias optativas [5]. Dentro das matérias obrigatórias, 18% são de matérias práticas, sendo um dos cursos da instituição com maior quantidade de disciplinas em laboratório [6]. A última grande reforma feita no fluxo e no currículo do curso foi em 2005. Será que as demandas dos engenheiros da década passada é a mesma?

## 1.2 Objetivos do projeto

**Objetivo geral:** Fomentar o uso de abordagens educacionais atualizadas baseadas no aprendizado ativo.

**Objetivo específico:** Exemplificar como o método *Project Based Learning* (PBL) pode ser implementado no contexto do curso de engenharia elétrica.

## Capítulo 2

# Revisão Bibliográfica

O ensino de Engenharia nas universidades durante muito tempo seguiu uma linha tradicional onde o professor é o foco das aulas e a matéria é apresentada aos alunos de uma maneira expositiva. Todavia, o mercado está cada vez mais exigente e buscando muito mais do que apenas pessoas com conhecimento técnico. As empresas buscam um perfil de engenheiro que saiba trabalhar em equipe, com clareza na comunicação e que acima de tudo tenha pensamento crítico, que consiga relacionar os conteúdos vistos de maneira coordenada para solução de problemas. Ou seja, o mercado exige um vasto currículo multidisciplinar [7].

Liane (2016) reforçou o perfil que o próprio MEC exige da formação do engenheiro no Brasil através da Lei n 9.394 (Lei de Diretrizes e Bases), de 1996, cujo Capítulo IV, se dedica à Educação Superior, e da Resolução CNE/CES 11, de 513 2002, da Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação, que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais da Graduação em Engenharia. Segundo esse marco regulatório, o engenheiro deve ser capaz de: projetar e interpretar resultados; planejar e supervisionar serviços de Engenharia; comunicar-se nas formas oral, escrita e gráfica; identificar, formular e resolver problemas; atuar em equipes multidisciplinares; avaliar o impacto socioambiental de suas ações; avaliar a viabilidade econômica de seus projetos; buscar, permanentemente, sua atualização [8].

Uma mudança de currículo dentro do meio acadêmico exige esforço para tirar tanto alunos como professores de suas zonas de conforto, mas se faz necessária para que a academia se torne a ponte que vai aproximar os alunos aos reais desafios que enfrentarão na sua vida profissional [9]. A formação em Engenharia deve se desenvolver em um cenário cujos protagonistas sejam tanto os estudantes quanto seus professores, construindo espaços para o desenvolvimento de competências que levarão o engenheiro a ser um profissional criativo e inovador, que sabe aplicar conhecimentos básicos e específicos para lidar com a realidade do meio onde está inserido [10].

Para conseguir aproximar o futuro engenheiro dos desafios reais, os cursos devem proporcionar um ambiente que consiga simular o ambiente de trabalho, em que ele seja capaz de não apenas

aplicar regras e instruções, mas sim de criar e aperfeiçoar novas regras, implementando projetos com possibilidades de melhorias para o meio em que vive [11].

Atualmente, as matérias de Engenharia, no geral, focam apenas nos fundamentos matemáticos e técnicos, se esquecendo de enfatizar os aspectos sociais, políticos e econômicos. Isso pode resultar em indivíduos que pensam em apenas uma solução ideal de problemas, e não em um contexto real [12].

Muitas universidades da Holanda, Canadá, Austrália e Estados Unidos já introduzem métodos de aprendizado ativo em cursos de Engenharia. O começo do estudo do denominado *aprendizado ativo* começou na McMaster University, em Hamilton, no Canadá, em 1969, na faculdade de saúde. O departamento alegava que a aprendizagem através da análise e resolução de problemas é mais eficaz do que a memorização de conhecimentos de anatomia. Desde então, muitas literaturas sobre o assunto já foram feitas e pode-se citar nomes como Calvin M. Woodward, Rufus W. Stimson e John Dewey como referência do método e suas aplicações em diversas áreas de conhecimento [13].

No Brasil, observa-se um despertar sobre o tema. O COBENGE (Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia) vem estimulando palestras, discussões e sessões dirigidas sobre o aprendizado ativo, que contam cada vez mais com a participação da comunidade acadêmica. Entre 2007 e 2014, 98 artigos foram escritos no país sobre o assunto. Interessante ressaltar que, das Instituições de Ensino Superior (IES) que mais contribuíram, a Universidade de Brasília está em segundo lugar com oito artigos (todos do departamento de Engenharia de Produção), ficando atrás apenas da Universidade Estadual de Feira de Santana, com 14 [14].

O aprendizado ativo permite aos alunos deixarem de serem meros ouvintes e possibilita maior comprometimento e envolvimento. Oportuniza evolução do pensamento crítico, que consiste em análise, síntese e avaliação dos problemas propostos. Além disso, possibilita o engajamento dos estudantes em mais atividades durante o curso, em práticas como leitura, escrita e discussão. Em resumo, capacita-os para uma exploração de suas atitudes e valores de maneira mais aprofundada [15].

Uma das estratégias de aprendizado ativo é o *Project Based Learning* (PBL), que tem a proposta de apresentar um desafio aos alunos sem que eles tenham todo o conhecimento prévio para entregar uma solução. É preciso um esforço para coletar a informação necessária, analisar e discutir possíveis saídas. Dessa forma, como acontecerá no futuro em suas carreiras, torna-se crucial para o desenvolvimento do estudante que este aprenda a trabalhar em equipe [16].

Grande parte das matérias de Engenharia usa o método de resolução de listas de exercícios. Essa estratégia é eficaz para aquisição de conhecimento no início do aprendizado. Porém, o PBL é uma ferramenta que permite ir além da aquisição, aplicando e consolidando o conhecimento

adquirido [12].

O PBL propõe desenvolver capacidade interdisciplinar no discente, uma vez que grandes projetos reais de Engenharia relacionam não apenas conhecimentos de uma área exclusiva. Isso possibilita a ver o mesmo problema de vários ângulos, o que o levará a trabalhar com mais competência e coerência no futuro [17]. O curso de Engenharia Elétrica na UnB tem como vantagem ser generalista, fazendo com que o estudante tenha uma familiaridade com vários ramos da Engenharia eletrônica (eletrônica, potência, telecomunicações e controle). Esse cenário apresenta potencial para otimização do aprendizado ativo, se bem aplicado.

A Escola de Engenharia da Universidade Europeia de Madrid realizou um estudo sobre a percepção do aluno na implementação do PBL em 2012. Os participantes recebiam um grande projeto no começo do semestre e empresas interessadas no resultado da pesquisa também participaram do estudo. A assimilação do conteúdo por meio de execução de projetos foi considerada por 90% dos envolvidos como uma forma de compreensão mais aprofundada do que pelo método tradicional. A proximidade com problemas enfrentados em empresas no dia-a-dia trouxe mais consciência sobre a importância do conteúdo estudado na teoria [18].

O aprendizado por meio de projetos consegue ir além de consolidação da teoria e entrar na seara da motivação. Alunos se sentem muito mais estimulados quando estão envolvidos em um desafio do que apenas assistindo a uma aula expositiva [17]. Esse fomento se faz necessário principalmente no cenário de evasão e baixa retenção de alunos que a Universidade de Brasília apresenta. Segundo o CPA (Comissão Própria de Autoavaliação), a taxa de alunos graduados na Engenharia Elétrica é de 74,1%: Além disso, apenas 43,1% conseguem formar no prazo do curso, como mostra a figura 2.1 [19]. Com isso, surge o desafio de tornar as matérias atrativas para que os alunos se envolvam com a produção científica e não estejam apenas em busca de alcançar notas para serem aprovados nas disciplinas [9].

Engenharia Elétrica (591)	
Total de Ingressantes (entre 2002 e 2008):	568, contagem feita por CPF.
Graduados:	74,1% (TDA).
Dentro prazo considerado:	43,1%.
Fora do prazo:	31,0%.
Não-Graduados:	25,9%.
Prazo considerado:	5 anos.

Universidade de Brasília (UnB)	
Total de Ingressantes (entre 2002 e 2008):	29.891, contagem feita por CPF.
Graduados:	76,1% (TDA).
Dentro do prazo (mínimo):	29,5%.
Fora do prazo:	46,6%.
Não-Graduados:	23,9%.

Figura 2.1: Quadro resumo sobre evasão no curso de Engenharia Elétrica e na UnB

Além de seu aspecto motivacional, outra vantagem do PBL é o sentimento de pertencimento ao curso e à universidade que a realização de projetos desperta nos alunos. O indivíduo passa enxergar sua relevância no meio em que está inserido e como ele pode ser um instrumento de transformação social por meio da proposição de soluções tecnológicas criativas e úteis [18].

Apesar de o aprendizado ativo ser centralizado no aluno, o professor tem um papel essencial neste processo. O mentor ensinará o aprendiz a passar pelas dificuldades da vida, e não apenas a passar em exames e testes [13]. Ele se torna um facilitador, não oferecendo respostas diretas, mas fazendo com que o aluno questione a si mesmo, direcionando seu raciocínio para o pensamento crítico. O professor se torna uma inspiração para a turma e um encorajador de novas ideias [20].

Michael Christie (2015) apontou um problema grave no sistema acadêmico: muitos professores que desejam ter mais tempo a pesquisas acabam sendo muito superficiais em suas avaliações nas disciplinas. Sendo assim, é exigido apenas que o aluno decore fórmulas. Como o sistema acadêmico recompensa quem tem boas notas, o discente acaba entrando em uma zona de conforto. Ao docente cabe apenas um papel de reprodutor de conteúdo, ao invés de facilitador, inspirador e encorajador.

Apesar das vantagens da implementação do Project Based Learning, uma análise aprofundada do contexto em que o projeto será inserido deve ser feita. O Instituto Mauá de Tecnologia, de São Paulo, realizou em 2015 uma pesquisa com professores a respeito da mudança curricular que seria feita na universidade para adicionar matérias com ênfase em aprendizado ativo e PBL. Eles apontaram que uma das dificuldades da implementação é o perfil passivo de alguns estudantes e também sua imaturidade. Pessoas com essa característica podem prejudicar todo o grupo [20]. Isso indica que talvez essa não seja a melhor estratégia para alunos mais novos. A introdução

de projetos e desafios deve ser feita sem sacrificar o aprendizado do conteúdo de Engenharia [12]. A falta de planejamento e organização da divisão das tarefas no grupo também foi um aspecto negativo observado na aplicação de PBL com os alunos de Engenharia de Madrid, no caso citado anteriormente. A desordem dos alunos acaba levando-os à serem improdutivos e à serem procrastinadores. No exemplo, muitos alunos deixaram para finalizar seus projetos perto das datas de provas de outras matérias [18].

Uma ferramenta de fácil implementação e grande eficácia no processo de instrução é o feedback. O ensino ativo passa por um processo cooperativo. Discente e docente, juntos no ecossistema acadêmico, passando relatórios construtivos uns aos outros. Mas principalmente, o retorno do professor para o aluno é fundamental para o desenvolvimento do pensamento crítico [21]. Na Holanda, na Universidade de Tecnologia Eindhoven, foi feito um PBL durante o desenvolvimento da disciplina Power Conversion. A tarefa consistia em projetar um sistema de transferência de energia sem contatos para o carregamento de carros elétricos, ao longo do semestre. Os alunos se reuniram em equipes e o professor estabeleceu os requisitos mínimos para a conclusão do projeto. Então, foram feitas três rodadas de feedback: feedback sobre a tarefa, feedback sobre o processo e feedback no autodesenvolvimento do aluno. A avaliação foi feita por meio de planilhas com critérios de qualidade para cada estágio. Esse método fez com que os alunos refletissem sobre seus erros e aprendessem por meio deles, além de se desenvolverem mais por meio da experimentação [22].

A inserção de atividades que envolvam aprendizado ativo é importante também para o progresso do educando no que se refere à escrita. Em geral, as matérias dos cursos de Engenharia não possuem muitas atividades que desenvolvem a escrita. Fazer com que os processos durante a execução das tarefas sejam reportados o levará ao aperfeiçoamento da redação. Isso porque a escrita, como forma de reflexão dos problemas, desenvolve o pensamento crítico [16]. De fato, a confecção de relatórios sobre atividades práticas já é feita em laboratórios há muito tempo. Porém, muitas vezes não há um feedback detalhado sobre o desdobramento do raciocínio feito, sendo entregue ao aluno apenas uma nota final do trabalho. O feedback durante o processo da escrita pode enriquecer o aprendizado. Sendo assim, o produto final do trabalho será realizado em construção juntamente com os professores e monitores. O pensamento crítico passa por uma progressão, e quando o aluno recebe avaliação do seu esboço, a probabilidade de entregar um trabalho final com mais qualidade é maior [21, 16].

Como já dito, na grande maioria das matérias de um curso de Engenharia, as atividades dentro de sala costumam ser unidirecionais, onde o conhecimento é exposto ao aluno pelo professor durante a aula. Depois, fora de sala, o aprendiz tem um momento de prática por meio de exercícios propostos. O *flipped learning*, que significa aprendizado invertido, propõe uma mudança de ordem, trazendo as atividades práticas para dentro da sala de aula, como exemplificado na tabela abaixo:

Tabela 2.1: Abordagem do Método Tradicional e do Método Invertido

<b>Método</b>	<b>Dentro de Sala</b>	<b>Fora de Sala</b>
Método Tradicional	Aulas e materiais para leitura	Tarefas de aprendizagem e resolução de exercícios
Método Invertido	Tarefas de aprendizagem ativa e resolução de exercícios	Vídeos, ferramentas interativas e estudo individual

Não há uma única tática para o método invertido, e possui vários estudos defendendo várias vertentes. Alguns estudos usam provas dentro de sala, outros defendem fora de sala. Há divergências pelo peso dos projetos e das provas. Todavia, todos mostram a mesma consistência: trabalho com conhecimento intelectual mais básico deve ser feito individualmente pelo aluno e atividades com nível mais elevado de raciocínio e análise dentro de sala [23].

Em 2015, na Universidade Nove de Julho, no Brasil, foi realizado um estudo aplicando o flipped learning com 272 estudantes e 21 professores. O resultado mostrou que se o material desenvolvido para leitura e aprendizado fora de sala não for bem estruturado e coordenado, o ensino fica defasado. [24]. Preparação prévia da disposição do conteúdo é o sucesso do método invertido. Deve-se ser bem específico no começo da disciplina, ao se passar as instruções iniciais e ementas, a fim de deixar claro a importância para o aluno da preparação prévia para aula.

## Capítulo 3

# Desenvolvimento

### 3.1 Apresentação da disciplina

Para exemplificar o método PBL em uma matéria do curso de Engenharia Elétrica na Universidade de Brasília, foi escolhida a disciplina do Laboratório de Conversão de Energia. A matéria possui uma carga horária de 4h semanais com 4 bancadas de eletrotécnica. O conteúdo estudado é de circuitos polifásicos, transformadores e máquinas rotativas. A turma é dividida em 4 grupos de 3 pessoas (cada grupo em uma bancada). O laboratório possui seis máquinas CC, oito máquinas assíncronas e oito máquinas síncronas. A bancada pode ser vista na figura 3.1 :

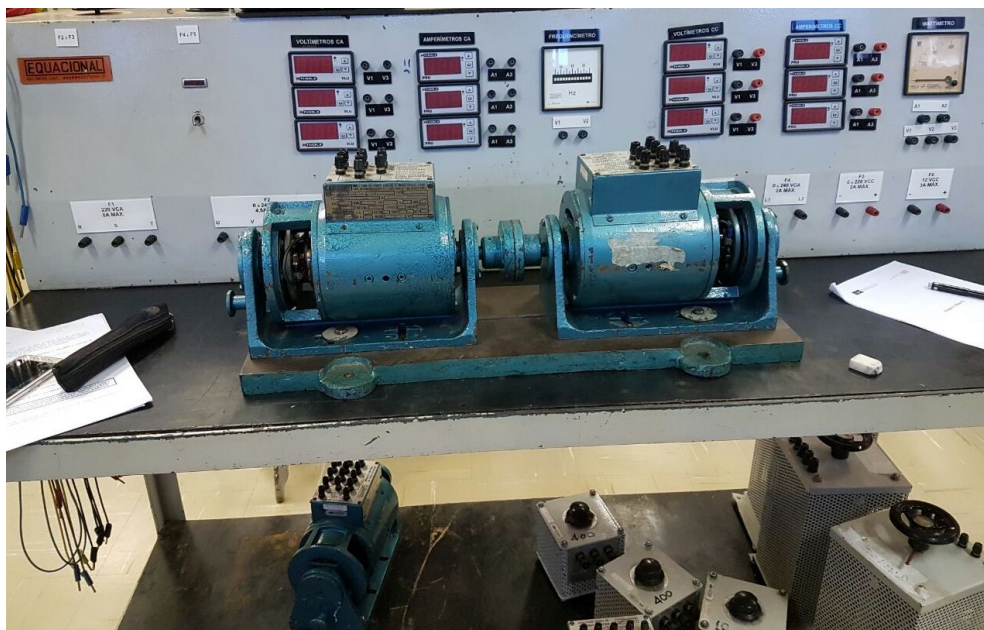


Figura 3.1: Bancada do laboratório com duas máquinas CC acopladas

Existem quatro instrumentos de avaliação: testes, questionários, simulações e provas. Os testes são aplicados juntamente com os experimentos dentro de sala de aula nos primeiros quinze



minutos. Ao final das coletas de dados, após o desligamento das bancadas, é feito um questionário de aproximadamente 30 minutos sobre o experimento feito. A nota de cada ensaio era 30% o valor do teste realizado no começo da aula e 70% o questionário respondido no final.

As simulações são questões relacionadas ao conteúdo da disciplina, que devem ser resolvidas com auxílio de códigos escritos para alguma interface de soluções de problemas matemáticos como MATLAB ou Octave. A média dos ensaios é calculada de seguinte maneira:

$$\mathbf{M}_E = \frac{(\mathbf{E}_1 + \dots + \mathbf{E}_x + \mathbf{S}_1 + \mathbf{S}_x)}{\mathbf{N}_E + \mathbf{N}_S} \quad (3.1)$$

Onde  $\mathbf{E}_x$  corresponde aos ensaios e  $\mathbf{S}_x$  as simulações.  $\mathbf{N}_E$  (número de ensaios) e  $\mathbf{N}_S$  (número de simulações) são 9 e 3 respectivamente. E, finalmente são aplicadas duas provas com pesos iguais. Na primeira é cobrado o conteúdo de revisão de circuitos polifásicos e transformadores enquanto na segunda é avaliado os conhecimentos de máquinas de indução, síncrona e de corrente contínua. Tem questões teóricas sobre os assuntos e uma parte prática onde o aluno deve realizar novamente uma das montagens já feitas nos experimentos. Há duas médias em que o aluno precisa ter 50% nas duas para ser aprovado: média dos ensaios e média das provas.

A disciplina no fluxo do curso de Engenharia Elétrica da UnB vem após a disciplina teórica. Ou seja, o aluno possui algum conhecimento prévio antes de ir para o laboratório. Na plataforma virtual de apoio à aprendizagem (moodle) utilizada pela universidade, o *aprender.unb* tem um material disponibilizado para auxiliar nos estudos. Para cada assunto, tem uma lista prévia de exercícios que não é avaliada para soma da nota final do aluno. Ele faz a lista apenas para reforçar e revisar o conteúdo. A ementa da matéria é dividida em 9 ensaios:

**1. Ensaio 1- Medições monofásicas utilizando resistores, indutores, capacitores e lâmpadas.**

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Aprender a utilizar os equipamentos de medição: voltímetro, amperímetro e wattímetro;
- b) Verificar a luminosidade de lâmpadas quando essas são alimentadas com corrente alternada e contínua;
- c) Verificar a potência e as correntes consumidas pelas lâmpadas quando essas são alimentadas com corrente alternada e contínua, tanto em ligações em série, como em paralelo.
- d) Verificar as potências e as correntes consumidas por cargas resistivas, indutivas e capacitivas.

**2. Ensaio 2 - Medições de tensões, correntes e potências trifásicas**

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Realizar as ligações em estrela e em delta;

- b) Verificar as relações de tensão e corrente em circuitos em estrela e em delta;
- c) Utilizar o método dos dois wattímetros para medição de potência ativa trifásica;
- d) Utilizar o wattímetro trifásico para medição de potência.

### 3. **Ensaio 3 - Ensaaios a vazio e de curto-circuito em transformador monofásico**

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Realizar os ensaios a vazio e de curto circuito em um transformador;
- b) Obter os parâmetros do circuito equivalente do transformador;
- c) Calcular o rendimento e a regulação do transformador.

### 4. **Ensaio 4 - Polaridade e paralelismo de transformadores monofásicos, autotransformadores e transformadores trifásicos**

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Determinar a polaridade e marcar os terminais de transformadores monofásicos;
- b) Observar a operação, em regime permanente, de dois transformadores monofásicos colocados em paralelo;

### 5. **Ensaio 5 - Geradores CC**

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Construir a curva característica de tensão a vazio de geradores CC com excitação independente;
- b) Verificar a tensão residual;
- c) Comparar a curva obtida com a curva teórica.
- d) Construir a curva característica de tensão-carga de geradores CC com excitação independente e shunt auto-excitado;
- e) Verificar a regulação de tensão para ambos os casos;
- f) Comparar as duas curvas obtidas com as respectivas curvas teóricas.

### 6. **Ensaio 6 - Motor CC**

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Estudar os diferentes esquemas de excitação dos motores de corrente contínua (CC) por meio da análise das características de funcionamento com carga mecânica variável e por meio do controle de velocidade com carga mecânica constante.
- b) Obter as características conjugado x velocidade.
- c) Verificar a influência da tensão de armadura aplicada e da corrente de campo (e conseqüentemente a influência do fluxo magnético no entreferro) na velocidade do motor.

### 7. Ensaio 7 - Motor de Indução Trifásico

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Analisar o comportamento do motor de indução trifásico;
- b) Realizar os ensaios a vazio e com rotor bloqueado;
- c) Obter os parâmetros do circuito equivalente do motor.

### 8. Ensaio 8 - Motor de Indução Trifásico : Rotor bobinado

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Verificar a variação da velocidade de um motor de indução trifásico com rotor bobinado (MIRB) através da variação de sua resistência rotórica.
- b) Obter as características do conjugado em função da velocidade e da corrente em função da velocidade para diferentes valores de resistência do rotor.

### 9. Ensaio 9 - Máquina Síncrona

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Realizar os ensaios de circuito aberto e de curto-circuito do gerador síncrono.
- b) Traçar as curvas de magnetização e de corrente de curto-circuito.
- c) Estimar o valor da impedância síncrona
- d) Observar as condições necessárias ao acoplamento do gerador síncrono à rede e estabelecer o paralelismo.

## 3.2 Visão dos alunos

Para coletar o feedback dos estudantes sobre a disciplina, foi realizado um questionário anônimo ao final do segundo semestre de 2016 com uma das turmas com 12 alunos para saber a impressão e aprendizado de cada um.

Uma sugestão feita por todos os alunos para melhoria da matéria foi a respeito da avaliação por meio de testes, questionários e provas. Muitos mencionaram que a disciplina acabava se tornando cansativa e que os métodos não avaliavam realmente o aprendizado. Outra observação foi a respeito do tempo gasto dentro de sala com essas atividades, deixando um tempo menor ainda para a parte prática.

*O método de se aplicar provas práticas não é muito eficiente, ao meu ver, pois o aluno se vê obrigado a decorar várias montagens. Como alternativa, poderia substituir as provas por um trabalho prático. Por exemplo: construir um gerador ou motor. (Relato de aluno no questionário.)*

### 3.3 Modelo proposto

O aprendizado, em qualquer área, é um assunto complexo e contém várias variáveis. Os métodos escolhidos para a escrita dos roteiros do laboratório de conversão têm como propósito trazer uma ênfase maior no aprendizado ativo, compreendendo o cenário da Universidade de Brasília. A maioria das matérias de cálculo já trazem como maneira de aprendizado a resolução de problemas contextualizados. Geralmente, os problemas requerem algum algoritmo aprendido na matéria, em que deve-se identificar os parâmetros necessários, substituí-los nas fórmulas e checar a resposta no gabarito. No sistema educacional atual, esses são os problemas em que os discentes desenvolvem seu aprendizado, um cenário bem distante de como problemas são encarados na vida real de um engenheiro.

No aprendizado por meio de projetos, o conteúdo não é dividido por assunto, mas sim por problemas. A construção do conhecimento não é estimulada pela matéria em si, e sim pela aplicação e voltada para a mesma [3]. Essa foi uma das mudanças da disciplina, que antes era dividida pelos assuntos como Motor CC, Motor de Indução, etc. A nova proposta sugere a seguinte divisão pelas aplicações:

- Bomba Hidráulica (1 aula)
- Esteira Industrial (2 aulas)
- Elevador (1 aula)
- Sistemas desconectados da rede de distribuição (1 aula)
- Academia Sustentável (2 aulas)
- Compensador Síncrono (2 aulas)

Algumas mudanças podem ser vistas, como por exemplo o foco totalmente em máquinas rotativas. Além disso, no formato anterior, havia mais experimentos de máquina CC do que síncrona. No proposto, a máquina que possui menor quantidade de experimentos é a máquina de corrente contínua. Em virtude do avanço da eletrônica de potência, as máquinas CC se tornaram soluções mais caras e não são tão utilizadas como antigamente. Por isso, devem ter menor destaque na disciplina.

Os objetos de avaliação serão questões prévias na plataforma do *aprender.unb*, relatórios feito em grupo e um desafio ao final do semestre. As perguntas no moodle serão respondidas no dia anterior ao laboratório, com a finalidade de forçar o aluno à uma revisão prévia para o experimento ser mais proveitoso. Assim, o tempo de aula fica focado na parte prática. Os relatórios voltados à resolução de problemas serão feitos em grupo, com uma semana para execução, após a realização do experimento.

Os roteiros começam do mais simples até o mais complexo. Por isso, a primeira máquina a ser abordada é o motor de indução. Assim, o aluno pode ir se familiarizando com o ambiente do laboratório. Primeiramente, no dia da apresentação da ementa, será passado para a turma apenas partir o motor de indução e com isso, será mostrado boas práticas de montagem, como a organização da bancada, organizar as fases por cores, ter sempre um amperímetro e voltímetro controlando a corrente e a tensão nominal da máquina para não sobrecarregá-la. Assim, é esperado que essa rotina seja implementada em todos os roteiros seguintes.

São duas aplicações propostas para o motor de indução : bomba hidráulica e esteira industrial, sendo a última com duas semanas de aula. Antes de começar o roteiro com as montagens que serão feitas e com as tabelas de medições, sempre tem um texto introdutório ao assunto. O propósito é abrir a mente do estudante na hora da prática, para ajudar na visualização dos fundamentos estudados na teoria serem vistos na prática.

Por exemplo, no roteiro da bomba hidráulica, deve-se fazer os ensaios a vazio e de rotor bloqueado para a obtenção dos parâmetros de circuito do MIT. Mas qual é o propósito de fazer ensaios para conseguir montar o circuito equivalente do motor? Quando isso é utilizado na prática? O contexto e o relatório vão guiar o aluno para desenvolver seu pensamento crítico em volta do experimento. No formato anterior da matéria, um questionário era feito ao final da aula, cobrando os dados e resultados encontrados na prática. Todavia, não dava tempo de realizar uma análise profunda sobre o assunto, onde o grupo pudesse discutir uma aplicação prática daquilo que tinha sido realizado.

Nesse contexto, é proposto para o estudante fazer um código no MATLAB (ou software semelhante) que calcule os valores dos parâmetros do circuito por meio dos valores obtidos nos ensaios a vazio e de rotor bloqueado. Assim, o aluno consegue ter noção do conjugado nominal da máquina e do seu rendimento. Finalmente, um problema é proposto: quando compensa trocar um MIT? Suponha que tem um motor onde o valor das resistências seja metade dos valores das resistências encontrados no laboratório, mas esse motor é 30% mais caro. Qual será o novo rendimento do motor? Do ponto de vista econômico, compensa comprar o motor com melhor rendimento? Para auxiliar, são disponibilizados dados de consumo de potência de bomba hidráulica, como vista na figura 3.2 abaixo [26]:

	Potência Média Watts	Dias estimados Uso/Mês	Média Utilização/Dia
<b>BOMBA D'ÁGUA 1/4 CV</b>	335	30	30 min
<b>BOMBA D'ÁGUA 1/2 CV</b>	613	30	30 min
<b>BOMBA D'ÁGUA 3/4 CV</b>	849	30	30 min
<b>BOMBA D'ÁGUA 1 CV</b>	1051	30	30 min

Figura 3.2: Exemplo do roteiro da bomba hidráulica

Por meio de um exemplo de escolha na compra entre dois motores, o aluno pode ir além de plotar gráficos e compará-los com a teoria (como era feito anteriormente). O discente consegue desenvolver seu pensamento crítico abordando vários aspectos de projeto, como demanda, custo econômico, tempo de retorno do investimento, vida útil do equipamento, conjugado nominal, instalações elétricas, rendimento. Todos esses assuntos não são abordados diretamente no conteúdo de máquinas elétricas, assim o aluno precisa buscar conhecimento adicional para elaboração do relatório. É esperado obter respostas variáveis dentro da mesma turma, considerando várias visões em torno de um problema amplo. As respostas serão baseados no semestre em que o aluno está, e também em suas experiências pessoais e profissionais, ou seja, conhecimentos prévios adquiridos. Esse é o propósito do método do PBL, que a pessoa consiga associar e organizar todo o seu conhecimento prévio para usar na resolução de um problema [27, 24].

Nas duas semanas seguintes, serão abordados outros aspectos do motor de indução como o controle de velocidade e análise de corrente de partida, que serão discutidos no mesmo relatório. É proposta a montagem do motor de rotor bobinado com um gerador CC como a carga rotativa; e para análise de corrente de partida é apresentada um comparativo entre a montagem em delta paralelo e a montagem estrela paralelo. A tensão de fase dessa é 380 V, mas a tensão de alimentação continuará sendo 220V. Será possível ver pelos medidores a diminuição da corrente de partida.

O segundo tipo de máquina abordada é a de corrente contínua, primeiramente a análise como gerador e a segunda como motor (onde são ligadas duas máquinas CC). A primeira aplicação é sobre sistemas *off-grid*, que são sistemas independentes e desconectados da rede elétrica. O roteiro traz uma análise social sobre como é feita a distribuição de energia ao redor do mundo e como para muitas comunidades isoladas, pequenos sistemas podem ser instalados para levar eletricidade até áreas onde a rede elétrica não chega. O texto tem a intenção de fomentar os universitários na busca de alternativas para geração e transmissão de energia em comunidades isoladas no Brasil e ao redor do mundo. É apresentado ao aluno um pequeno projeto, o qual ele pode comentar sobre quais os aspectos que ele consideraria ou mudaria no seu projeto de eletrificação de uma zona rural,

como o mostrada na figura 3.3 [28]:

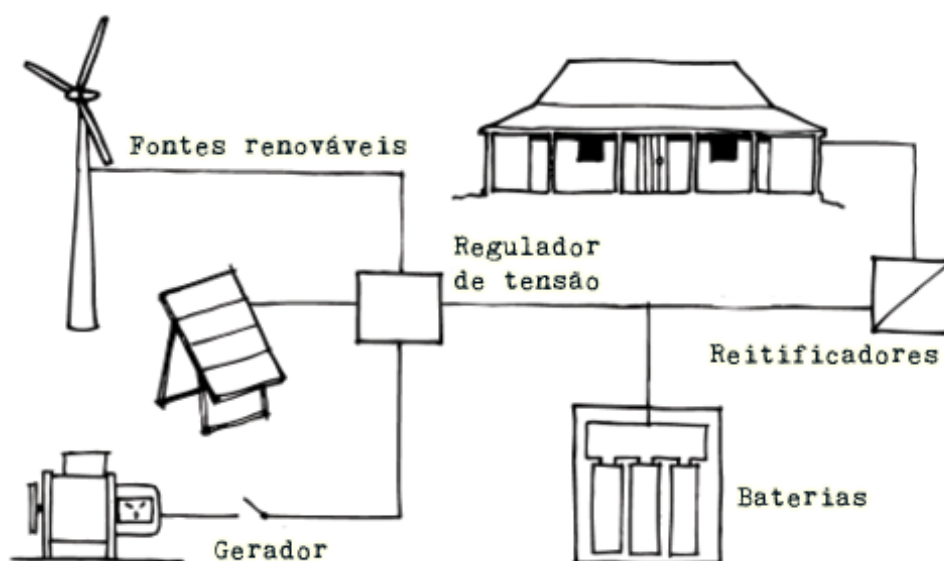


Figura 3.3: Exemplo do roteiro de sistemas desconectados da rede

Um futuro engenheiro deve ter consciência do meio em que se está inserido e dos desafios que a profissão lhe trará. Contexto social, territorial, ambiental, econômico e político são levados em consideração na execução de um projeto tanto quanto aspectos teóricos de equipamentos.

Em seguida, é apresentada a aplicação que envolve a máquina CC como motor. Os motores CC são geralmente usados na área de transportes, como trens e metrô. Sendo assim, foi proposto o elevador para ser analisado, por ser um meio de transporte vertical bem comum. Nos elevadores mais modernos não se usa mais motor CC, embora em algumas edificações antigas ainda pode se encontrar na casa de máquinas esse tipo de motor. A justificativa de usar essa aplicação é conseguir mostrar para o aluno um uso de controle de velocidade para um dispositivo que necessita de um alto conjugado de partida, uma das maiores vantagens do motor de corrente contínua.

E finalmente, as máquinas síncronas. São destinados três experimentos: dois com gerador e um com motor. Os de gerador possuem o mesmo contexto, baseado em um projeto já existente no Brasil e em todo mundo que é o Cine Pedal [29], onde a energia gerada nas bicicletas alimentam todos os equipamentos que projetam um filme em uma tela. O projeto já teve edições em várias capitais, inclusive em Brasília. A iniciativa tem uma ideologia sustentável, além de promover a ideia de uma vida longe dos carros. É organizado por uma empresa de festivais de produção audiovisual, mas tem apoio do governo. Um esquemático da estrutura do evento pode ser visto a seguir na figura 3.4:

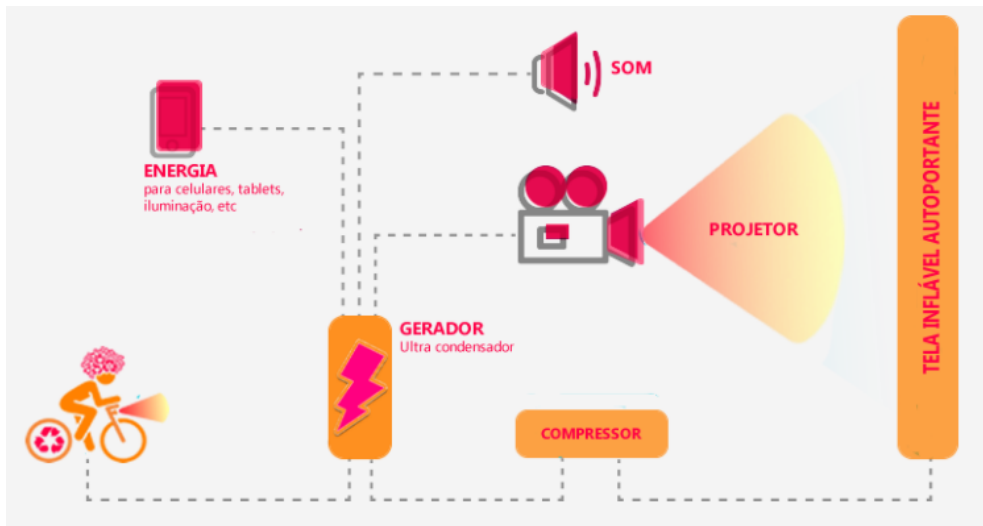


Figura 3.4: Esquemático da estrutura do Cine Pedal

A aplicação consegue ser implementada também com um alternador de carro, que é um gerador síncrono. A ideia do experimento é pensar em como seria replicar um projeto deste. O que seria necessário, quais equipamentos, a potência gerada, etc. Nos experimentos, serão feitos os ensaios para obtenção da impedância síncrona saturada e a relação de curto circuito (um parâmetro que é encontrado ocasionalmente na indústria para caracterizar o gerador). Depois, será visto experimentalmente as condições necessárias para se efetuar o paralelismo dos geradores com a rede. Como se deve garantir que ocorrerá sincronismo se a entrada do sistema é variável (pedaladas dos ciclistas) ? Na figura 3.5 , mostra a montagem que deverá ser feita para colocar o gerador em paralelo com a rede elétrica.

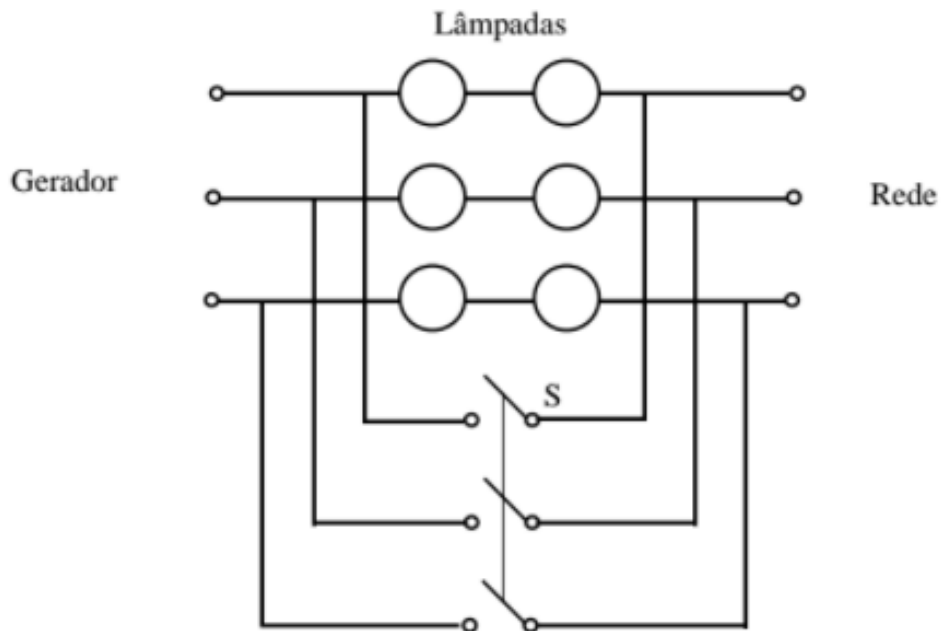


Figura 3.5: Exemplo do roteiro de paralelismo com a rede



O último roteiro é o do compensador síncrono, que tem como foco discutir a correção de fator de potência pela análise da curva V. O desafio desse experimento é desenhar o esquemático sem um modelo prévio para copiar.

### 3.4 Abordagem didática

Ao longo dos roteiros, pode-se perceber como o nível de complexidade foi altamente gradativamente. Começou-se com os motores de indução, pela simplicidade. No começo, os roteiros também eram bem explicados e detalhados. O aluno precisava apenas se atentar aos detalhes que já estavam escritos no papel e executar. Para testar a capacidade de resolver problemas do grupo, o experimento do compensador síncrono não possui o esquemático de nenhuma montagem. O grupo deve discutir e elaborar qual é a melhor estratégia para a obtenção da curva do motor síncrono. Além de aperfeiçoar o trabalho em equipe, o PBL consegue desenvolver a solução criativa de problemas, sem todos os dados previamente informados, exatamente como ocorre na vida real [10]. [11] O assunto do roteiro não é difícil, é só sobre plotar a corrente de armadura em função da corrente de campo. A dificuldade está no aluno sair da sua zona de conforto de receber a instrução pronta.

Em alguns roteiros, é indicado o uso de software como o MATLAB para o estudante escrever um código e fazer uma simulação da máquina rotativa utilizada no experimento. Na disciplina, não foram indicados simuladores já com layouts prontos de máquinas rotativas, pois o propósito é justamente ter o processo de entender os circuitos e traduzir isso em forma de equação. O uso de simulações é muito importante em qualquer área da engenharia, pois permite a visualização de variações dos parâmetros dentro do sistema, ajuda no processo de acúmulo de conteúdo e ajuda no mapeamento cognitivo. Além disso, dá um feedback instantâneo para validar o conhecimento e compreensão do grupo. Em outras palavras, é mais uma ferramenta útil para potencializar a aprendizagem. É considerado uma prática de aprendizado ativo, pois o aluno interage com o software, escrevendo e alterando o código, sendo o protagonista da construção e da análise [30, 3].

Durante os experimentos, foram destacadas perguntas que não possuem um gabarito quantitativo. É esperado que o grupo consiga desenvolver a habilidade de argumentação e pensamento crítico, competência essencial para qualquer profissional no ambiente de trabalho. É esperado as identificações dos seguintes pontos durante a elaboração de um argumento [3]:

- Qual é o problema?
- Quais são as variáveis envolvidas no problema?
- Quais as soluções possíveis?
- Qual a melhor solução para o contexto?
- Quais as evidências que sustentam meu argumento?

- O que pode ser argumentado contra minha escolha?

Em função disso, a abordagem do relatório é mais aberta, sendo priorizado o raciocínio por trás de uma escolha. Uma prática mantida do formato anterior da disciplina foram as questões prévias antes do relatório, onde o título foi alterado para *Guia de estudo*. É um hábito voltado ao aprendizado ativo e ajuda o aluno revisar o conteúdo. Como foi visto na revisão bibliográfica deste trabalho, no método invertido, a parte de estudo e compreensão não acontece na sala de aula, sendo o momento de aula para aprofundamento e prática. Da mesma forma que já acontecia, a ideia é não cobrar a resolução da lista formalmente. Por isso, foram desenvolvidas questões que podem ser adaptadas para a plataforma do *aprender.unb* para fazer com que o aluno não despreze o momento de estudo prévio antes do experimento. A lista de guia de estudo e as questões para o moodle possuem questões mais diretas, com gabarito, para o estudante conseguir perceber seu avanço ao longo do semestre.

Tabela 3.1: Visão do modelo proposto

Atividade	Como deve ser feita
Guia de Estudo	Individualmente, na semana anterior à aula
Questão no moodle	Individualmente, até o dia anterior à aula
Roteiro	Em grupo, no dia da aula no laboratório
Relatório	Em grupo, até uma semana após a aula

Feito os experimentos, ao final da disciplina, é proposto um desafio final. Desafios em grupo são mais motivadores do que simplesmente a exposição de um conteúdo, além da fixação ocorrer de maneira mais eficaz. [8] Como o curso é ministrado em um laboratório, o desafio deve ser prático, sendo que as análises teóricas escritas foram cobradas e avaliadas durante os relatórios. É importante que o desafio seja alcançável, para não desmotivar a classe. Baseado em um dos roteiros, o desafio é deixar dois geradores síncronos em paralelo e esse conjunto em paralelo com a rede. O laboratório não possui quantidade de máquinas suficientes para a tarefa ser realizada simultaneamente, então deve ser coordenado juntamente com a turma, professor, monitor e técnico responsável pela sala para cada um ter seu horário para apresentar e também horários para teste.

Os roteiros, os guias de estudo, as questões para o moodle estão no apêndice deste trabalho, onde podem ser vistos os elementos presentes de aprendizado ativo, além da evolução gradativa de conteúdo e desenvolvimento proposto para o protagonismo do aluno nas escolhas feitas nas argumentações.

## Capítulo 4

# Resultados Experimentais

### 4.1 Teste dos roteiros

Cada experimento adaptado para o Project Based Learning foi testado no laboratório para ver se o tempo seria adequado. É importante notar que alguns roteiros foram feitos em seguida, aproveitando a mesma montagem. Além disso, foram realizados por pessoas que já tinham conhecimento prévio dos esquemáticos e prática com as máquinas rotativas. Na tabela abaixo, segue os tempos no teste de cada roteiro:

Tabela 4.1: Tempo de execução de cada experimento no laboratório

<b>Experimento</b>	<b>Tempo</b>
Bomba Hidráulica (Obtenção do circuito equivalente)	35 minutos
Esteira Industrial (Variação de velocidade com a variação da resistência do rotor)	25 minutos
Esteira Industrial (Análise da corrente de partida)	41 minutos
Sistemas desconectados da rede elétrica (Caracterização da tensão a vazio, obtenção do circuito equivalente, histerese)	42 minutos
Elevadores (Controle de velocidade) e regulação de tensão)	46 minutos
Academia sustentável (Obtenção do circuito equivalente, análise do gerador com carga)	48 minutos
Academia sustentável (Paralelismo do gerador com a rede)	17 minutos
Compensador síncrono (Curva V)	41 minutos

Provavelmente, o experimento do motor síncrono precisará de duas semanas para sua execução. Como os alunos devem pensar na montagem, isso demanda um tempo maior do realizar montagens já prontas. Além disso, será necessário o uso do fasímetro pela primeira vez em um roteiro. Presumivelmente, a primeira semana será mais de testes do que coletas de dados para o relatório.

O circuito montado para a curva foi o da figura abaixo:

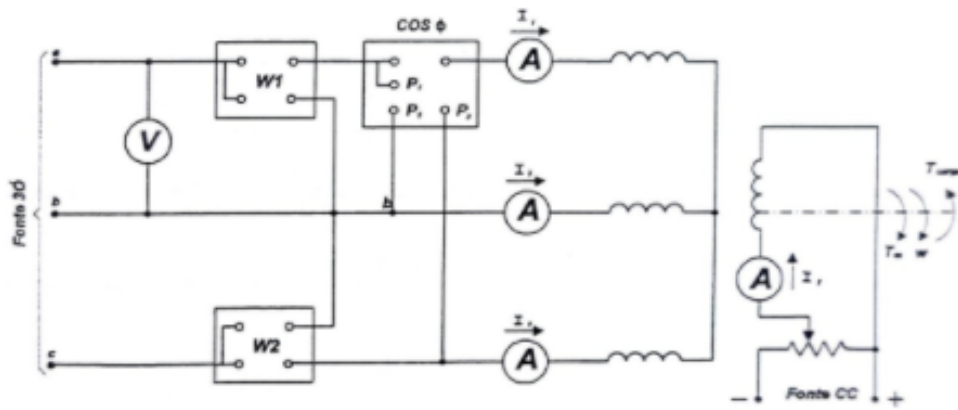


Figura 4.1: Circuito para obtenção da curva V

Por limitações técnicas do laboratório de conversão de energia, só foi possível analisar as curvas V no circuito a vazio e com meia carga, para não sobrecarregar as máquinas. Os gráficos das curvas podem ser vistas na figura abaixo:

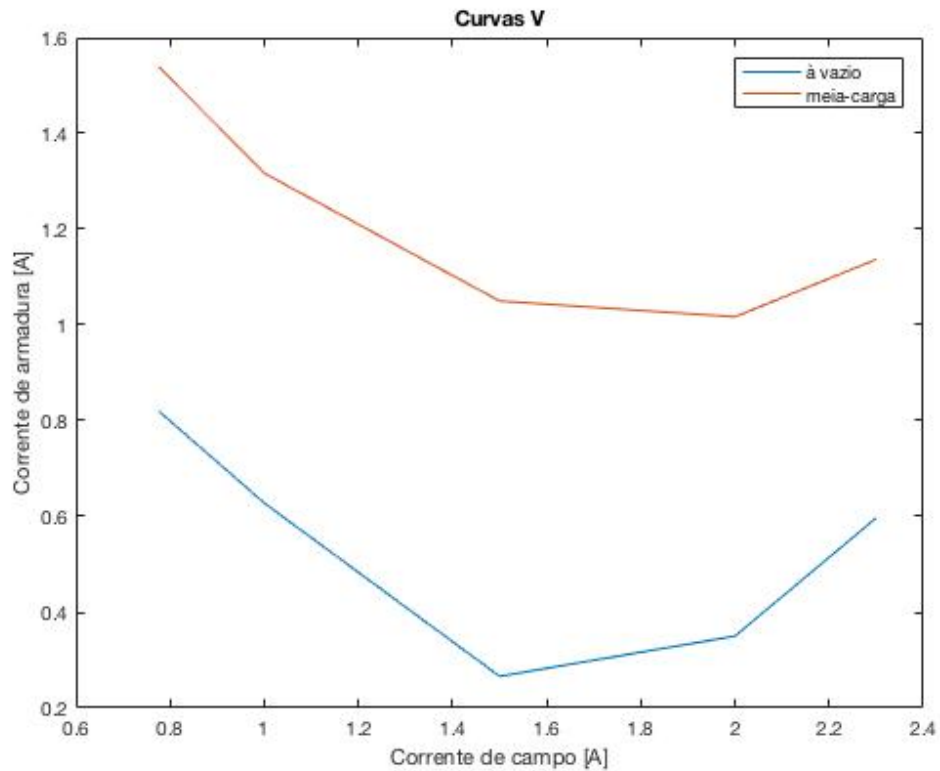


Figura 4.2: Curvas obtidas com os dados experimentais no laboratório

## 4.2 Desafio proposto

O desafio proposto para os alunos de colocar dois geradores em paralelo e depois esse bloco em paralelo com a rede também não será disponibilizada montagem prévia. Foi testado no laboratório a execução do desafio com duas pessoas realizando. O tempo foi de 40 minutos. O que facilitou o sincronismo foi usar o frequencímetro nas duas bancadas, para mostrar que ambas estavam em 60 Hz.. Primeiro foi testado cada bancada separadamente como no experimento 7 e depois ligou uma bancada na outra. Abaixo, as imagens dos circuitos usados nos testes:



Figura 4.3: Montagem da primeira bancada



Figura 4.4: Montagem da segunda bancada

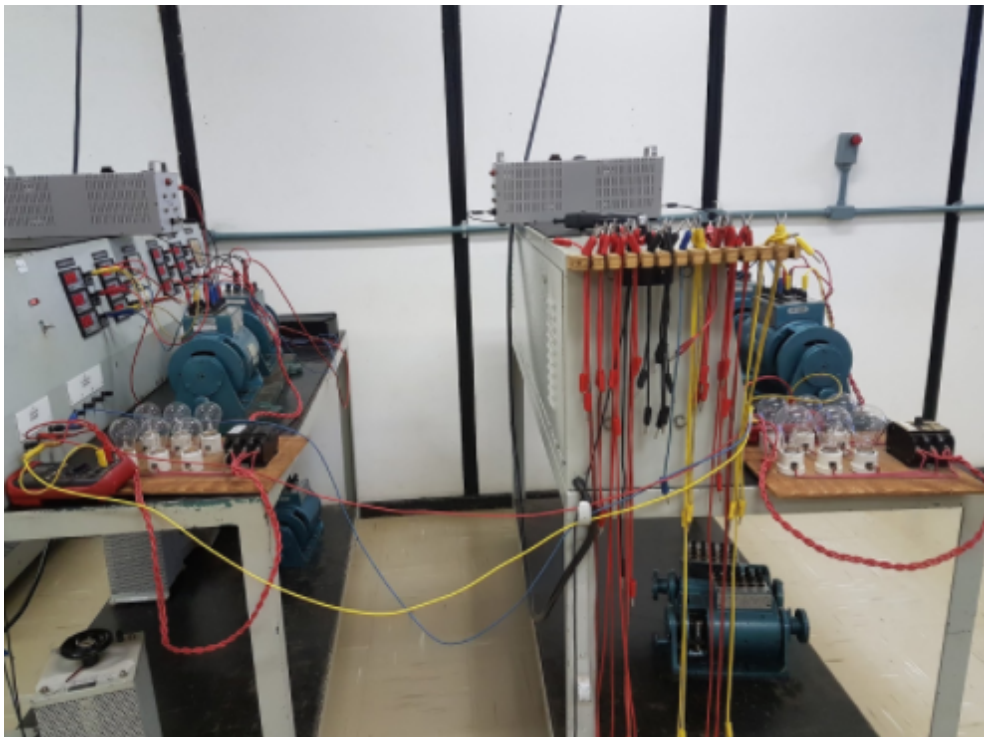


Figura 4.5: Montagem final

O desafio consegue analisar o desenvolvimento do aluno em organização, trabalho em equipe e compreensão da matéria. O tempo investido fora do tempo convencional de aula para preparação

junto com os colegas do grupo pode ser entendido como uma revisão de conteúdos estudados que não foram fixados no momento do experimento.

Os resultados mostram que a disciplina pode ser alterada para uma quantidade menor de créditos dentro de sala de aula, pois de acordo com o método invertido visto na Revisão Bibliográfica, o tempo gasto será em aprendizado ativo.



## Capítulo 5

# Conclusões

Este trabalho visou mostrar como metodologias de aprendizado ativo podem ser implementadas nas matérias dos cursos de engenharia. No contexto do problema do Laboratório de Conversão de Energia, como se trata de matéria realizada em laboratório, é mais fácil observar a implementação dos métodos, mas nada impede que os mesmos princípios sejam usados em matérias consideradas completamente teóricas.

A Universidade de Brasília, desde sua fundação, é reconhecida no Brasil pela universalização do conhecimento, um diferencial curricular. A pedagogia de Darcy Ribeiro apontava para uma educação que não é passada de forma separada, em blocos, mas funciona de forma mais orgânica e interligada. O aprendizado por meio de projetos permite essa integração e a aplicação de assuntos interdisciplinares. Em uma era onde a informação é facilmente encontrada, mais importante que apenas saber é saber como fazer. Em um sistema de aprendizagem mais eficiente, o aluno não apenas aprende um certo conteúdo, mas também como ele pode aplicar aquele conhecimento no seu contexto [31].

O laboratório tem como objetivo ajudar na formação profissional do engenheiro, incentivando o trabalho em equipe, já que as montagens são feitas em grupos. Também analisará o método invertido, que consiste em os universitários se organizarem previamente para chegarem na sala de aula com o conteúdo do dia previamente estudado e revisado. Os relatórios priorizam a argumentação e o relato dos caminhos usados pelo aluno para chegar na resposta, e não as resoluções em si. Além disso, possuem questões com simulações para potencializar o ensino. Todas essas são abordagens que valorizam o aprendizado ativo. Algumas já eram implementadas no contexto da Faculdade de Tecnologia da UnB, mas este trabalho tentou demonstrar como esses métodos podem ser intensificados. Certas limitações foram encontradas para acrescentar outros roteiros em função do maquinário do laboratório. Por isso, as proposições foram destinadas mais à abordagem dos assuntos relacionados à máquinas rotativas do que à uma mudança total dos experimentos.

Para desenvolver ainda mais o projeto, algumas melhorias para o futuro podem e devem ser

implementadas. O aprendizado é algo complexo, nem sempre as pessoas aprendem da mesma forma. Por isso, a inclusão de um estudo híbrido, com um acompanhamento individual feito por uma plataforma online, poderá avaliar melhor a evolução de cada aluno [32].

Este trabalho de conclusão de curso é uma proposta para algumas mudanças que podem ser implementadas, mas os resultados ainda precisam ser analisados. Quando o assunto é educação, é ambicioso afirmar que certo método funcionará perfeitamente para determinado contexto. É preciso tempo para testar como funcionará a longo prazo. Na bibliografia desse projeto, encontram-se vários exemplos positivos e negativos em diferentes locais do mundo onde o PBL conseguiu envolver mais os alunos de engenharia.

Os métodos de ensino usados atualmente nos cursos de engenharia na maioria das universidades do Brasil estão desatualizados. Com a tecnologia à serviço da educação, os resultados podem (e precisam) melhorar. Um engenheiro eletricitista das décadas de 60 e 70 tinha uma demanda completamente diferente do engenheiro eletricitista da era globalizada. Todavia, o fluxo do curso não sofreu alterações por 12 anos.

Educação é um processo amplo que engloba toda a sociedade e sua cultura. O ser humano aprende dentro do seu grupo familiar, organizações em que ele está vinculado e pessoas com que ele convive. Porém, a universidade tem obrigação na implementação de melhorias educacionais devido ao seu papel de espaço institucional legitimado para a formação da força de trabalho de uma nação. Este trabalho pretende oferecer propostas para que alunos possam ser cidadãos mais criativos nas soluções de problemas e que professores consigam ser essa peça chave que aceita as diferenças de aprendizagem de cada indivíduo e dá suporte de informação, motivando-os a vencer os desafios propostos [33],

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PORTAL MEC. <http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=39571:proposta-preve-flexibilizacao-e-r-1-5-bilhao-em-investimentos-em-escolas-de-tempo-integral>. Acessado em 01/12/2016.
- [2] FUTURO da UnB. <http://www.unbfuturo.unb.br/index.php/artigos/112-para-professores-e-escolas-e-mudar-ou-morrer-diz-estudioso>. Acessado em 01/12/2016.
- [3] JONASSEN, D. Supporting problem solving in pbl. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, Purdue University Press, v. 5, n. 2, p. 8, 2011.
- [4] HISTORIA da UnB. [http://unb2.unb.br/sobre/principais\\_capitulos/criacao](http://unb2.unb.br/sobre/principais_capitulos/criacao). Acessado em 01/12/2016.
- [5] SITE do ENE UnB. <http://www.ene.unb.br/>. Acessado em 01/12/2016".
- [6] "CURSO de Engenharia Eletrica na UnB". [http://unb2.unb.br/aluno\\_de\\_graduacao/cursos/engenharia\\_eletrica](http://unb2.unb.br/aluno_de_graduacao/cursos/engenharia_eletrica). Acessado em 27/06/2017.
- [7] ENGINEERING, U. National Academy of. *The engineer of 2020: visions of engineering in the new century*. [S.l.]: National Academies Press Washington, DC, 2004.
- [8] LODER, L. L. Sobre ensino-aprendizagem em engenharia: a eficiência de estratégias de aprendizagem ativa. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 509–515.
- [9] SOARES, L. P.; ACHURRA, P.; ORFALI, F. A hands-on approach for an integrated engineering education. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 294–302.
- [10] LIMA, R. M.; MESQUITA, D.; ROCHA, C. Professionals? demands for production engineering: Analysing areas of professional practice and transversal competences. In: *22nd International Conference on Production Research (ICPR 22)*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 352a1–352a7.
- [11] VILLAS-BOAS, V. et al. Professores de engenharia podem aprender a tornar a sua prática docente eficaz. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 483–491.

- [12] MILLS, J. E.; TREAGUST, D. F. et al. Engineering education?is problem-based or project-based learning the answer. *Australasian journal of engineering education*, v. 3, n. 2, p. 2–16, 2003.
- [13] CHRISTIE, M.; GRAAF, E. An essay on the active learner in engineering education. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 7–11.
- [14] OLIVEIRA, J. A. C. e. a. Uso de estratégias ativas na educação em engenharia no brasil: um mapeamento sistemático de experiências a partir das publicações realizadas no cobenge. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 289–295.
- [15] CENTEA, D.; ZILBERBRANT, G.; MACKENZIE, A. Implementing a vehicle dynamics curriculum with significant active learning components. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 189–198.
- [16] MICHALUK, L. M. et al. Developing a methodology for teaching and evaluating critical thinking skills in first-year engineering students. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION*, TEMPUS PUBLICATIONS IJEE, ROSSMORE,, DURRUS, BANTRY, COUNTY CORK 00000, IRELAND, v. 32, n. 1, p. 84–99, 2016.
- [17] CORREIA, W. C. et al. A experiência de aprendizagem baseada em projetos interdisciplinares em um novo campus de engenharia sob a perspectiva dos discentes. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 464–474.
- [18] GALLEGU-CEIDE, A. et al. Project based engineering school: Evaluation of its implementation.students? perception. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 104–111.
- [19] RELATORIO CPA UnB 2015. <http://unb2.unb.br/administracao/decanatos/deg/trajetoria/completos/57.pdf>. Acessado em 31/10/2016.
- [20] NETO, O. M.; LIMA, R. M.; MESQUITA, D. Project-based learning approach for engineering curriculum design: faculty perceptions of an engineering school. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 87–94.
- [21] DOMINGUEZ, C. et al. Adding value to the learning process by online peer review activities: towards the elaboration of a methodology to promote critical thinking in future engineers. *European Journal of Engineering Education*, Taylor & Francis, v. 40, n. 5, p. 573–591, 2015.
- [22] PUENTE, S. M. G.; JANSEN, J. W. Supporting students in practical design assignments using design-based learning as an instructional approach. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 246–251.
- [23] BORMANN, J. Affordances of flipped learning and its effects on student engagement and achievement. *Unpublished Master of Arts Dissertation. Iowa. University of Northern Iowa*, 2014.

- [24] TAVARES, S. R.; CAMPOS, L. C. D. Flipping the engineering classroom: an analysis of a brazilian university engineering program's experiment. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 29–38.
- [25] JABBAR, A. I. A.; FELICIA, P. Gameplay engagement and learning in game-based learning: A systematic review. *Review of Educational Research*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 85, n. 4, p. 740–779, 2015.
- [26] "CONSUMO de bombas". <https://www.foxlux.com.br/blog/dicas/como-calcular-o-consumo-de-energia-de-bombas-dagua/>. Acessado em 26/06/2017.
- [27] PAZETI, M.; PEREIRA, M. Entrepreneurship: A practical approach with project-based learning. In: *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 192–199.
- [28] "GRID vs Off the Grid ". <http://www.flexiquotes.com.au/grid-vs-off-the-grid>. Acessado em 27/06/2017.
- [29] "PROJETO Cine Pedal". <http://cinepedalbrasil.com/2aetapa/>. Acessado em 27/06/2017.
- [30] BELHOT, R. V.; FIGUEIREDO, R. S.; MALAVÉ, C. O. O uso da simulação no ensino de engenharia. In: *Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, XXIX COBENGE*. [S.l.: s.n.], 2001. p. 445–451.
- [31] IMPORTANCIA da pratica. <http://socialcoach.com.br/coaching-de-lideranca/nao-importa-o-que-voce-sabe/>. "acessado em 05/06/2017",.
- [32] "ENSINO hibrido". <http://www.fundacaolemann.org.br/ensino-hibrido/>. Acessado em 20/06/2017.
- [33] MORAN, J. M. *A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá*. [S.l.]: Papirus Editora, 2007.

# ANEXOS

# I. ENSAIOS DO LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

- Ensaio 1
- Ensaio 2
- Ensaio 3
- Ensaio 4
- Ensaio 5
- Ensaio 6
- Ensaio 7
- Ensaio 8
- Ensaio 9



Universidade de Brasília (UnB)  
Faculdade de Tecnologia (FT)

Departamento de  
Engenharia Elétrica (ENE)



## ***Ensaio 1: Medições Monofásicas Utilizando resistores, indutores, capacitores, e ...***





## Requisitos para execução do ensaio

- Ler atentamente o roteiro com o objetivo de se identificar quais são os resultados que se espera adquirir com a execução do ensaio.
- Responder as perguntas do questionário referentes ao ensaio 01 (material no moodle).
- Considerando-se as variáveis a serem adquiridas com a execução do experimento, apresentar as equações e (ou) métodos necessários para se alcançar os gráficos e (ou) valores esperados no ensaio.
- Elaborar um resumo teórico sobre o cálculo e a medição de potência elétrica em CA em circuitos monofásicos (potências aparente, ativa, reativa e fator de potência).
- Mostrar o princípio de funcionamento de um wattímetro.
- Determinar os valores teóricos para as Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5.

## 1. Objetivos

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Aprender a utilizar os equipamentos de medição: voltímetro, amperímetro e wattímetro;
- b) Verificar a luminosidade de lâmpadas quando essas são alimentadas com corrente alternada e contínua;
- c) Verificar a potência e as correntes consumidas pelas lâmpadas quando essas são alimentadas com corrente alternada e contínua, tanto em ligações em série, como em paralelo.
- d) Verificar as potências e as correntes consumidas por cargas resistivas, indutivas e capacitivas.

## 2. Equipamentos utilizados

- a) Fontes e medidores da bancada;
- b) Wattímetro;
- c) Circuito de lâmpadas;
- d) Resistores, indutores e capacitores.
- e) Cabos.

### 3. Circuito de Lâmpadas

O circuito de lâmpadas é formado por nove lâmpadas de 60 watts e 220 volts, que podem ser ligadas conforme o interesse do usuário. A Figura 1 ilustra o circuito de lâmpadas.

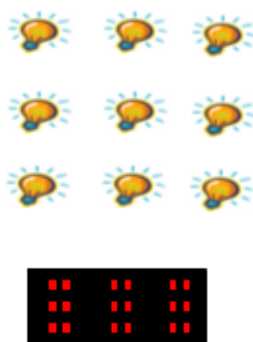


Figura 1 – Ligações das lâmpadas.

### 4. Atividade I

Alimente uma lâmpada com tensão de 220 volts em corrente alternada (CA) e outra com tensão de 220 volts em corrente contínua (CC). Verifique a luminosidade, a corrente e a potência consumida pelas lâmpadas. As ligações dos aparelhos de medição estão mostradas na Figura 2. Preencha a Tabela 1 com os valores medidos e os valores teóricos.

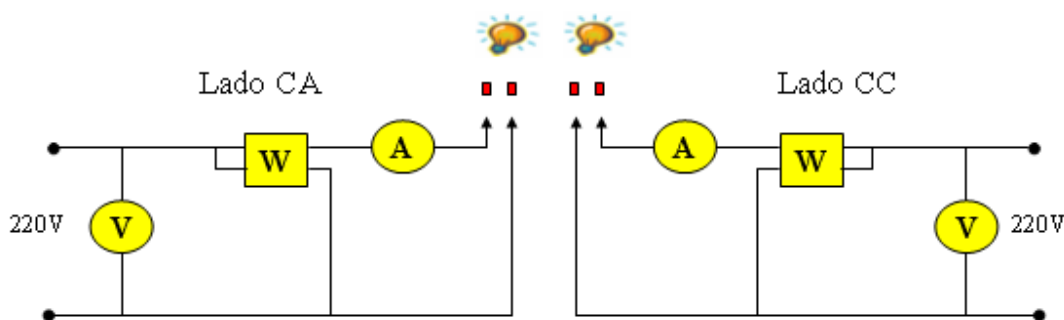


Figura 2 – Esquema de ligações dos medidores.

Tabela 1- Valores medidos e teóricos.

Alimentação	Valores Medidos				Valores Teóricos			
	V	I	W	R	V	I	W	R
CA (chave F2)					220			
CC (chave F5)					220			

## 5. Atividade II

Ligue QUATRO lâmpadas idênticas de 60 watts e 220 volts em série. Acrescente uma de cada vez ao circuito elétrico. Verifique a queda de tensão em cada lâmpada. O esquema da ligação série está apresentado na Figura 3. Preencha a Tabela 2 com os dados medidos e teóricos.

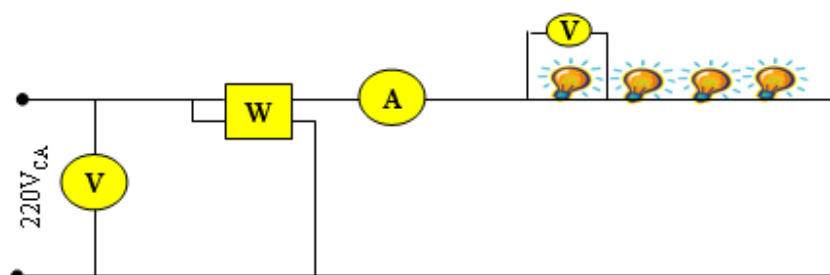


Figura 3 – Esquema de ligação em série.

**Observação:** Conecte desde o início, as quatro lâmpadas ao circuito elétrico. Curte circuite todas que não forem empregadas nas medições. O curto-circuito, ao ser retirado, fará com que a lâmpada entre no circuito.

Tabela 2- Valores medidos e teóricos.

Qtd lamp	Valores Medidos					Valores Teóricos				
	V	I	W	V <sub>Lâmpada</sub>	R <sub>Total</sub>	V	I	W	V <sub>Lâmpada</sub>	R <sub>Total</sub>
1										
2										
3										
4										

## 6. Atividade III

Ligue QUATRO lâmpadas em série. Serão duas de 60 watts, uma de 40 watts e uma de 100 watts, todas de 220 volts. Acrescente uma de cada vez ao circuito elétrico. Verifique a queda de tensão em cada lâmpada. Preencha a Tabela 3 com os dados medidos e teóricos.

Tabela 3- Valores medidos e teóricos.

Qtd lamp	Valores Medidos					Valores Teóricos				
	V	I	W	V <sub>Lâmpada</sub>	R <sub>Total</sub>	V	I	W	V <sub>Lâmpada</sub>	R <sub>Total</sub>
1										
2										
3										
4										

## 7. Atividade IV

Ligue QUATRO lâmpadas de 60 watts e 220 volts em paralelo. Acrescente-as uma a uma. Verifique a corrente que circula em cada ramo do circuito. O esquema de ligação em paralelo está apresentado na Figura 4. Preencha a Tabela 4 com os dados medidos e teóricos.

**Atenção:** Coloque o wattímetro na escala de 5 A. A leitura efetuada deverá ser multiplicada por 5.

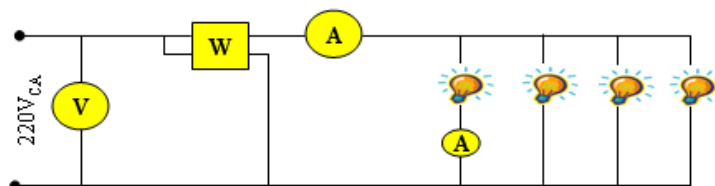


Figura 4 – Esquema de ligação em paralelo.

Tabela 4- Valores medidos e teóricos.

Qtd lamp	Valores Medidos					Valores Teóricos				
	V	I	W	I <sub>Lâmpada</sub>	R <sub>Total</sub>	V	I	W	I <sub>Lâmpada</sub>	R <sub>Total</sub>
1						220				
2						220				
3						220				
4						220				

Com o ohmímetro, adquirida e anote o valor da resistência da lâmpada, quando está estiver fria.

**ATENÇÃO:** Faça essa medição com o circuito totalmente DESLIGADO.

## 8. Atividade V

Montar o circuito da Figura 5 ajustando a fonte monofásica para que a tensão nos seus terminais seja 110 volts em CA (com carga). Deve-se lembrar que os capacitores e indutores conservam sua carga por um longo período, mesmo depois de desenergizados. Deste modo, deve-se tomar muito cuidado ao manusear estes componentes. De acordo com as leituras do voltímetro, amperímetro e wattímetro, preencher a Tabela 5 para cada uma das condições de carga indicadas.

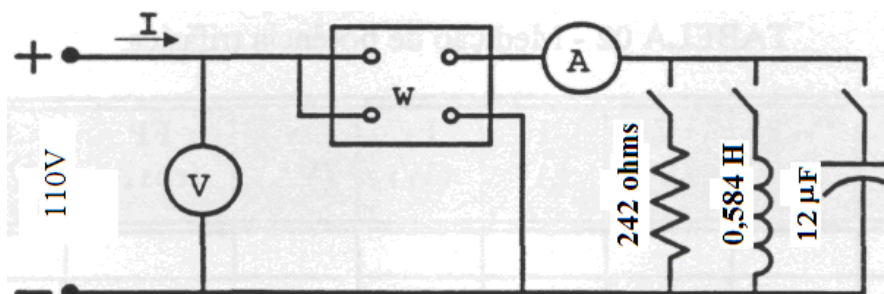


Figura 5 – Esquema de ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas

Tabela 5 - Medição de potência monofásica.

Valores teóricos							
CARGA	P(W)	V(V)	I(A)	S(VA)	FP(cósφ)	Q(VAr)	Z(Ω)
<b>R</b>							
<b>L</b>							
<b>C</b>							
<b>R//L</b>							
<b>R//C</b>							
<b>L//C</b>							
<b>R//L//C</b>							
Valores medidos e calculados							
CARGA	P(W)	V(V)	I(A)	S(VA)	FP(cósφ)	Q(VAr)	Z(Ω)
<b>R</b>							
<b>L</b>							
<b>C</b>							
<b>R//L</b>							
<b>R//C</b>							
<b>L//C</b>							
<b>R//L//C</b>							

Comentar como seria a energização do indutor e do capacitor em corrente contínua.



Universidade de Brasília (UnB)  
Faculdade de Tecnologia (FT)

Departamento de  
Engenharia Elétrica (ENE)



## ***Ensaio 2: Medições de Tensões, Correntes e Potências Trifásicas***

## Requisitos para execução do ensaio

- Ler atentamente o roteiro com o objetivo de se identificar quais são os resultados que se espera adquirir com a execução do ensaio.
- Responder as perguntas do questionário referentes ao ensaio 02 (material no moodle).
- Considerando-se as variáveis a serem adquiridas com a execução do experimento, apresentar as equações e (ou) métodos necessários para se alcançar os gráficos e (ou) valores esperados no ensaio.
- Elaborar um resumo teórico sobre o cálculo e a medição de potência elétrica em CA em circuitos trifásicos equilibrados (potências aparente, ativa, reativa e fator de potência).
- Mostrar o princípio de funcionamento de um wattímetro e demonstrar que o método dos 2 (dois) wattímetros ou Método de Aron se aplica para medição de potência trifásica.

## 1. Objetivos

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Realizar as ligações em estrela e em delta;
- b) Verificar as relações de tensão e corrente em circuitos em estrela e em delta;
- c) Utilizar o método dos dois wattímetros para medição de potência ativa  $3\phi$ ;
- d) Utilizar o wattímetro trifásico para medição de potência;

## 2. Equipamentos utilizados

- a) Fontes e medidores da bancada;
- b) Circuito de Lâmpadas;
- c) Wattímetros;
- d) Circuito de Lâmpadas;
- e) Resistores, indutores e capacitores.
- f) Cabos.

## 3. Atividade I

Monte o circuito  $3\phi$  com as lâmpadas ligadas em estrela e os medidores conforme mostrado na Figura 1.

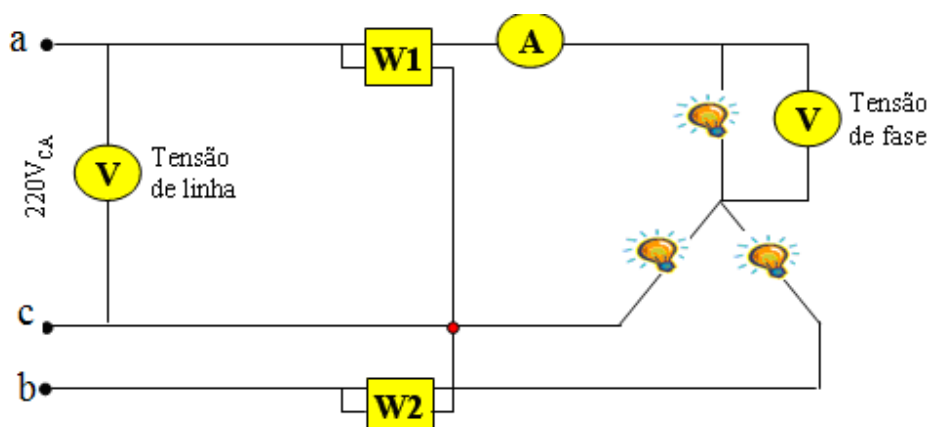


Figura 1 – Ligação em estrela.

Preencha as Tabelas 1 e 2 com base na medição dos aparelhos do circuito. Faça todos os cálculos teóricos necessários para que você possa se certificar de que os valores medidos estão adequados. Considere nos cálculos lâmpadas de 60W.

Tabela 1- Valores medidos.

Circuito 3 $\phi$	$V_{\text{Linha}}$	$V_{\text{Fase}}$	$I_{\text{Linha}}$	$I_{\text{Fase}}$
1 lâmpada por fase				
2 lâmpadas por fase				
3 lâmpadas por fase				

\* Ligue as lâmpadas em paralelo.

Tabela 2 – Medição de potência trifásica.

Circuito 3 $\phi$	W1	W2
1 lâmpada por fase		
2 lâmpadas por fase		
3 lâmpadas por fase		

\* Ligue as lâmpadas em paralelo.

Monte um circuito com lâmpadas conectadas em estrela de forma que você consiga adquirir os valores das grandezas apresentadas na Tabela 3. Utilize um wattímetro trifásico para você identificar o consumo de potência ativa do circuito. Preencha a Tabela 3 com os valores lidos nos aparelhos de medição.



Tabela 3 – Medição de potência trifásica, tensões e correntes.

Circuito 3 $\phi$	$P_{3\phi}$	$V_{FaseA}$	$V_{FaseB}$	$V_{FaseC}$	$I_{FaseA}$	$I_{FaseB}$	$I_{FaseC}$
1 lâmpada por fase							
2 lâmpadas por fase							
3 lâmpadas por fase							

\* Ligue as lâmpadas em paralelo.

#### 4. Atividade II

Monte o circuito 3 $\phi$  com as lâmpadas ligadas em delta e os medidores conforme mostrado na Figura 2.

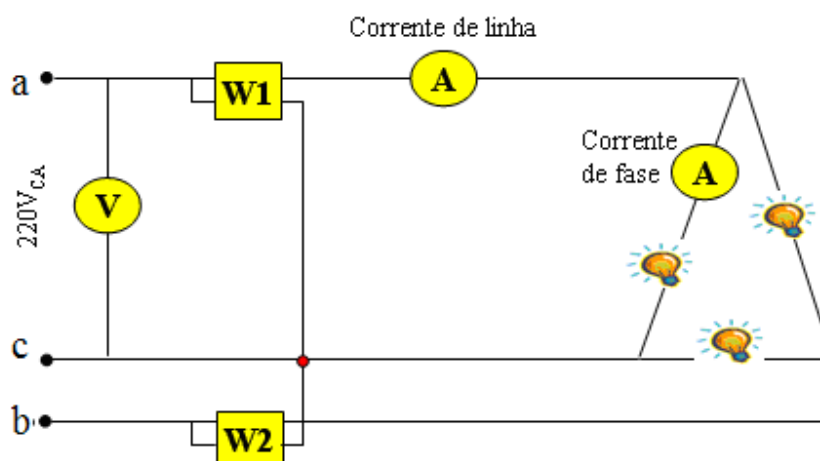


Figura 2 – Ligação em delta.

**PARA FACILITAR A LIGAÇÃO DELTA:**

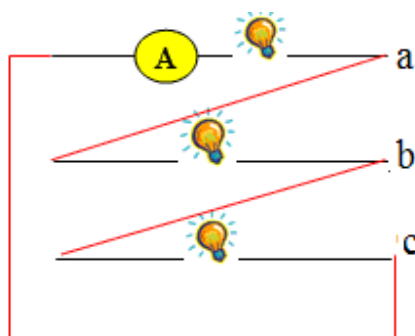


Figura 3 – Ligação em delta.

Preencha as Tabelas 4 e 5 a partir da medição dos aparelhos do circuito. Faça todos os cálculos teóricos necessários para que você possa se certificar de que os valores medidos estão adequados. Considere nos cálculos lâmpadas de 60W.

Tabela 4 - Valores medidos.

Circuito 3 $\phi$	$V_{\text{Linha}}$	$V_{\text{Fase}}$	$I_{\text{Linha}}$	$I_{\text{Fase}}$
1 lâmpada por fase				
2 lâmpadas por fase				
3 lâmpadas por fase				

\* Ligue as lâmpadas em paralelo.

Tabela 5 – Medição de potência trifásica.

Circuito 3 $\phi$	W1	W2
1 lâmpada por fase		
2 lâmpadas por fase		
3 lâmpadas por fase		

\* Ligue as lâmpadas em paralelo.

## 5. Atividade III

Monte um circuito 3 $\phi$  desequilibrado em estrela aterrado com 1 lâmpada em 1 fase, 2 lâmpadas em paralelo em outra fase, e finalmente, 3 lâmpadas em paralelo na terceira fase. Aplique uma tensão de linha de 220 volts. A lâmpada a ser utilizada é de 60 watts e 220 volts. Verifique as tensões, as correntes de fase e de linha e as potências com base no

método dos 2 wattímetros do mencionado circuito. Meça também a corrente de neutro. Anote os resultados das medições nas Tabela 6 e 7. Faça todos os cálculos teóricos necessários para que você possa se certificar de que os valores medidos estão adequados.

Tabela 6 - Valores medidos

Circuito 3 $\phi$	V <sub>Linha</sub>	V <sub>Fase</sub>	I <sub>Linha</sub>	P <sub>1<math>\phi</math></sub>
Fase com 1 lâmpada				
Fase com 2 lâmpadas				
Fase com 3 lâmpadas				

- $I_{\text{neutro}} = \underline{\hspace{2cm}}$

- Ligue as lâmpadas em paralelo.

Tabela 7 - Valores medidos

	W1	W2	W1+W2
Circuito 3 $\phi$ desequilibrado			

Ref faça, passo a passo, a montagem demandada na atividade III, para um circuito semelhante ao anterior, porém sem o neutro aterrado. Anote os valores medidos nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Valores medidos

Circuito 3 $\phi$	V <sub>Linha</sub>	V <sub>Fase</sub>	I <sub>Linha</sub>	P <sub>1<math>\phi</math></sub>
1 lâmpada por fase				
2 lâmpadas por fase				
3 lâmpadas por fase				

- Ligue as lâmpadas em paralelo.

Tabela 9 - Valores medidos

	W1	W2	W1+W2
Circuito 3 $\phi$ desequilibrado			

Analise os resultados encontrados.

## 6. Atividade IV

Montar um circuito 3 $\phi$  equilibrado em delta com cargas R, L e C em paralelo, ajustando a fonte trifásica para que a tensão nos seus terminais seja 110 volts (com carga). Preencha a Tabela 10 com os dados medidos no circuito. Faça todos os cálculos teóricos necessários para que você possa se certificar de que os valores medidos estão adequados.

R=242 ohms L=0.584 H C=12  $\mu$ F

Tabela 10 - Medição de potência em uma fase do circuito 3 $\phi$

CARGA	P(W)	V(V)	I(A)	S(VA)	FP(cos $\phi$ )	Q(VAr)	Z( $\Omega$ )
<i>R//L</i>							
<i>R//L//C</i>							



## ***Ensaio 3: Ensaaios a Vazio e de Curto-Circuito Em Transformador Monofásico***

### **Requisitos para execução do ensaio**

- Elaborar um resumo teórico sobre o princípio de funcionamento do transformador, enunciando as hipóteses do transformador ideal e do circuito elétrico equivalente do transformador real: relação de transformação ( $a$ ), resistências dos enrolamentos ( $R_1$  e  $R_2$ ), reatâncias de dispersão ( $X_1$  e  $X_2$ ) e impedância do ramo de magnetização ( $R_m$  e  $X_m$ ).
- Explicar o procedimento de determinação dos parâmetros do circuito equivalente, a partir dos resultados do ensaio a vazio e do ensaio em curto-circuito, considerando as perdas no núcleo e as perdas no cobre.
- Mostrar como é feito o cálculo do rendimento e da regulação de tensão de um transformador, a partir dos dados teóricos e dos dados práticos.

### **1. Objetivos**

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Realizar os ensaios a vazio e de curto circuito em um transformador;
- b) Obter os parâmetros do circuito equivalente do transformador;
- c) Calcular o rendimento e a regulação do transformador.

### **2. Equipamentos utilizados**

- a) Fontes e medidores da bancada;
- b) Transformador monofásico de 24 VA e 110/12 V
- c) Wattímetro;
- d) Cabos;
- e) Reostato de 450  $\Omega$ , que suporte até 2 A.

### 3. Ensaio a vazio e de curto circuito

Leia atentamente os capítulos 1 e 2 do livro “Transformadores – Teoria e Ensaio” de José Carlos de Oliveira e José Policarpo. Há alguns exemplares na biblioteca central. Em seguida, responda as perguntas do guia de estudo disponível no ambiente apreender relacionados a este tema.

Preencha a Tabela 1 utilizando os dados nominais do transformador.

Tabela 1 – Dados nominais do transformador

	Lado de BT	Lado de AT
Tensão (V)		
Corrente (A)		
Potência (VA)		

Identificar os terminais de alta e baixa tensão através da medição das tensões ou das resistências dos enrolamentos.

Sobre o ensaio a vazio: Deverá ser realizado no lado de baixa tensão (BT). Aplica-se **tensão nominal**. O esquema das ligações dos medidores está apresentado na Figura 1.

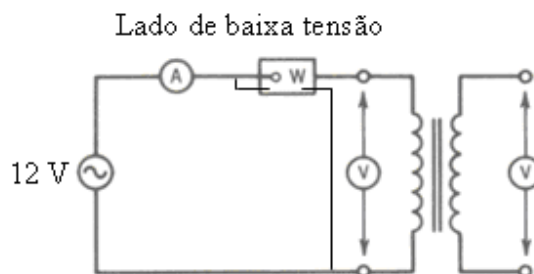


Figura 1 – Esquema de ligação para o ensaio a vazio

Sobre o ensaio de curto-circuito: Deverá ser realizado no lado de alta tensão (AT). Aplica-se **corrente nominal**. O esquema das ligações dos medidores está apresentado na Figura 2.

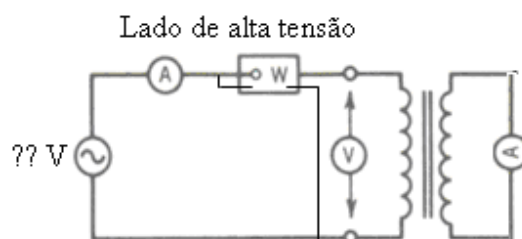


Figura 2 – Esquema de ligação para o ensaio de curto-circuito

Preencha a Tabela 2, com os dados medidos nos ensaios a vazio e de curto-circuito.

Tabela 2 – Ensaio no transformador

	Ensaio a vazio (lado de BT)	Ensaio de curto-circuito (lado de AT)
Voltímetro		
Amperímetro		
Wattímetro		

Determine o circuito equivalente do transformador. Refira-o para o lado de alta tensão e para o lado de baixa. Coloque também todos os dados em p.u..

#### 4. Cálculo da regulação de tensão e do rendimento

Leia atentamente no livro “Transformadores – Teoria e ensaios” os capítulos que têm uma relação com o tema em questão. Em seguida, apresente as equações que permitem calcular a regulação e o rendimento de um transformador para as seguintes condições: TEORICAMENTE - a partir de dados teóricos do transformador; e de forma PRÁTICA - empregando-se os resultados a serem medidos neste ensaio. Descreva passo a passo como utilizá-las frente às informações disponíveis. Utilize o circuito equivalente do transformador.

##### 4.1. Medições

Monte o circuito de acordo com a Figura 3.

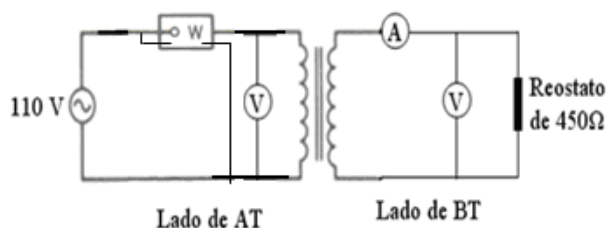


Figura 3 – Transformador monofásico com carga no secundário.

Com o circuito do secundário do transformador em aberto (carga desconectada), verifique o valor da tensão.

Ajuste o reostato para o seu máximo valor. Varie a carga até atingir a potência nominal do transformador (24 VA). Anote na Tabela 3 os resultados das medições para 10 valores de carga.

Tabela 3 – Medidas dos ensaios de regulação e rendimento

Fração da carga	Lado de AT		Lado de BT		Valores calculados		
	Tensão	Potência de entrada	Tensão	Corrente	Potência	$\eta$	Reg
0.0							
0.1							
0.2							
0.3							
0.4							
0.5							
0.6							
0.7							
0.8							
0.9							
1.0							

## 4.2 Curvas Teóricas e Práticas

Calcule para os 10 valores de carga utilizados no ensaio, os valores teóricos e práticos da regulação de tensão e do rendimento do transformador. Em seguida, trace dois gráficos contendo as curvas teóricas e práticas da regulação de tensão e de rendimento do transformador, respectivamente. Analise os resultados encontrados.





## ***Ensaio 4: Polaridade e Paralelismo de Transformadores Monofásicos, Autotransformadores e Transformadores Trifásicos***

### **Requisitos para execução do ensaio**

- Comentar a respeito da marcação da polaridade dos terminais dos enrolamentos dos transformadores monofásicos.
- Apresentar e explicar sucintamente os métodos do golpe indutivo (CC) e da corrente alternada, utilizados para a determinação da polaridade de transformadores monofásicos.
- Citar e explicar as condições necessárias ao estabelecimento do paralelismo entre transformadores monofásicos e trifásicos.
- Determinar as correntes esperadas nos amperímetros  $A_1$  e  $A_2$  do circuito da Figura 03.
- Gerar um resumo teórico a respeito das características de funcionamento de um autotransformador, apresentando o seu circuito elétrico equivalente, e relacionar as vantagens e as desvantagens de seu uso, em relação ao uso do transformador convencional
- Estabelecer as diferenças entre os métodos de cálculo do rendimento e da regulação de tensão para os transformadores convencionais e os autotransformadores. Descrever as conexões de transformadores trifásicos ou banco de 3 (três) transformadores monofásicos (Y-Y, Y- $\Delta$ ,  $\Delta$ -Y,  $\Delta$ - $\Delta$ ), considerando as relações entre tensão de linha ( $V_L$ ) e tensão de fase ( $V_F$ ), bem como as relações entre corrente de linha ( $I_L$ ) e corrente de fase ( $I_F$ ), em função da relação de espiras ( $K_N$ ).

### **1. Objetivos**

- Determinar a polaridade e marcar os terminais de transformadores monofásicos;
- Observar a operação, em regime permanente, de dois transformadores monofásicos colocados em paralelo;

- Obter os parâmetros elétricos do circuito equivalente de um autotransformador por meio dos ensaios a vazio e em curto-circuito;
- Analisar o desempenho do autotransformador quanto ao rendimento e à regulação de tensão; e
- Analisar as relações existentes entre as grandezas elétricas dos transformadores trifásicos, em diferentes conexões.

## 2. Material Utilizado

- a) 3 transformador monofásico de 24 VA e 110/12 V;
- b) 1 wattímetro;
- c) 2 voltímetros CA;
- d) 1 voltímetro CC;
- e) 1 amperímetro CC;
- f) 2 amperímetros CA; e
- g) 3 reostatos;

## 3. Procedimento Experimental

Preencha a Tabela 1 utilizando os dados nominais do transformador.

Tabela 1 – Valores nominais do transformador

	Lado de BT	Lado de AT
Tensão (V)		
Corrente (A)		
Potência (VA)		

### 3.1 – Marcação da Polaridade

#### 3.1.1. Método do golpe indutivo em corrente contínua

**Questão teórica:** como se comporta o transformador quando energizado com corrente contínua?

- Montar o circuito da Figura 1 com a fonte CC de 12 V ligada nos terminais de AT.
- Instalar o voltímetro analógico CC de modo a obter uma deflexão positiva quando ligar a fonte CC (chave na posição 1).
- Marcar os terminais de AT com H1 (positivo) e H2 (negativo).
- Mudar a chave para a posição 2 de modo a obter uma deflexão positiva quando ligar a fonte CC.
- Marcar os terminais de BT com X1 (positivo) e X2 (negativo).

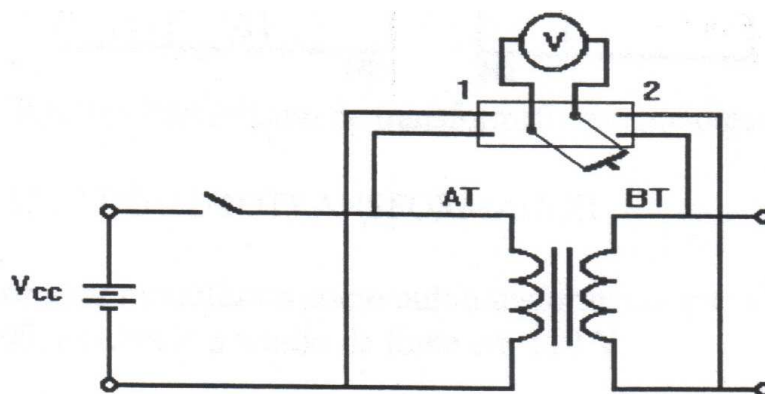


Figura 1 – Método do golpe indutivo em CC

#### 3.1.2. Método da corrente alternada

- Aplicar uma tensão alternada no lado de AT do transformador, conforme mostra a Figura 2, e medir o valor da tensão do voltímetro (chave na posição 1).
- Mudar a chave para a posição 2 e medir o valor de tensão no voltímetro.
- Se a primeira leitura for maior que a segunda, a polaridade será **subtrativa**. Caso contrário, **aditiva**.

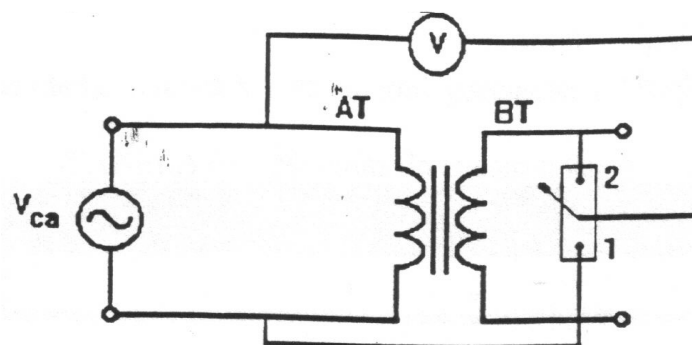


Figura 2 – Método da corrente alternada

### 3.2. Paralelismo de Transformadores Monofásicos

Questões teóricas: Quais são os requisitos necessários para que transformadores possam operar em paralelo? Considerando-se os transformadores utilizados em laboratório, qual a potência a ser obtida quando da conexão de dois transformadores em paralelo? Qual a corrente cada amperímetro da Figura 3 irá registrar caso os transformadores estejam na condição nominal de carga?

- Montar o circuito da Figura 3, observando as polaridades dos transformadores.
- Aplicar tensão nominal no lado de AT, e ajustar o resistor até que cada amperímetro tenha 1 A.
- Medir as correntes nos amperímetros A1 e A2, com carga nominal na BT.

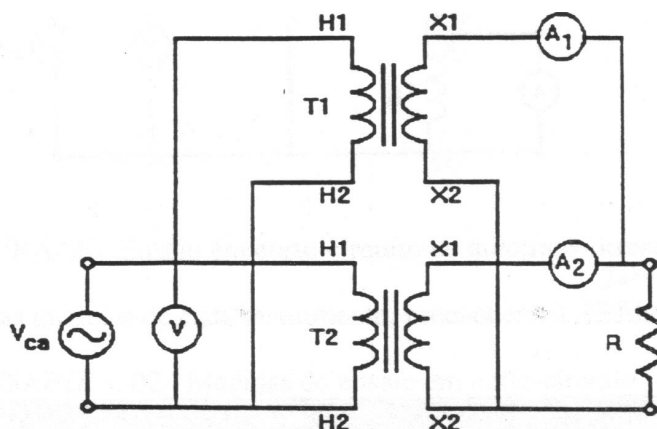


Figura 03 – Paralelismo de transformadores monofásicos

### 3.3. Autotransformador

**Questão teórica:** ao utilizar o transformador monofásico como autotransformador elevador, os valores nominais de tensão, corrente e potência são alterados. Preencha a Tabela 2 com os valores nominais do autotransformador.

Tabela 2 – Valores nominais do autotransformador

	Lado de BT	Lado de AT
Tensão (V)		
Corrente (A)		
Potência (VA)		

### 3.4. Ensaio a Vazio do Autotransformador

- Utilize o transformador monofásico como autotransformador elevador, conforme o circuito apresentado na Figura 4, ajustando a tensão da fonte em 110 V.

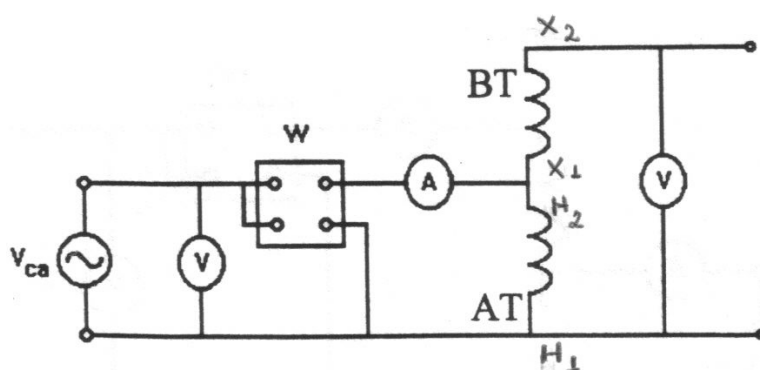


Figura 4 – Ensaio a vazio do autotransformador

- De acordo com as medidas de cada instrumento, preencher a Tabela 3.

Tabela 3 – Medidas do ensaio a vazio

$P_o$ (W)	$I_o$ (A)	$V_1$ (V)	$V_2$ (V)
		110	

### 3.5. Ensaio em Curto-Circuito do Autotransformador

- Montar o circuito da Figura 5, ajustando a fonte de tensão (AT) para obter a corrente nominal no lado de BT (terminal em curto-circuito).

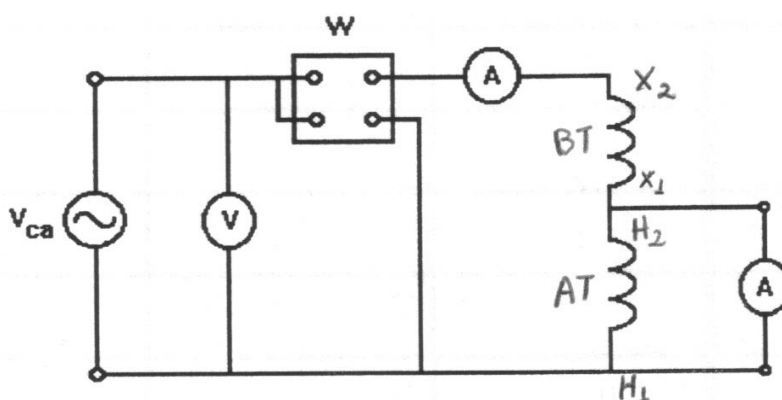


Figura 5 – Ensaio em curto do autotransformador

Tabela 4 – Medidas do ensaio em curto - circuito

$P_{cc}$ (W)	$V_{cc}$ (V)	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)
			2.22

Calcule cada parâmetro e apresente o circuito equivalente do autotransformador ensaiado.

### 3.6. Ensaio para Determinação do Rendimento e da Regulação do autotransformador

- Montar o circuito da Figura 05 acrescentando um resistor em série com o amperímetro conectado na BT do autotransformador. Ajuste a fonte de tensão (AT) para obter a corrente nominal no lado de BT (terminal em curto-circuito). Meça a tensão sobre o resistor, quando a corrente que circula pelo circuito for a nominal. Anote os valores na Tabela 5.

Tabela 5 – Medidas do ensaio de rendimento e regulação de tensão

Fração de carga	P (W)	$I_1$ (A)	$V_1$ (V)	$I_2$ (A)	$V_2$ (V)
1,0				2.22	

### 3.7. Conexão de Transformadores Trifásicos

- Realize as ligações do banco de 3 transformadores monofásicos aplicando tensão nominal nos terminais de AT, e meça as tensões de linha ( $V_L$ ) e de fase ( $V_F$ ) para cada tipo de conexão. Preencha a Tabela 6.

Tabela 6 – Relação entre as tensões, em transformadores trifásicos

Tipo de conexão	$V_L$ (V) - AT	$V_F$ (V) - AT	$V_L$ (V) - BT	$V_F$ (V) - BT
Y-Y				
Y- $\Delta$				
$\Delta$ -Y				
$\Delta$ - $\Delta$				



Universidade de Brasília (UnB)  
Faculdade de Tecnologia (FT)

Departamento de  
Engenharia Elétrica (ENE)



## ***Ensaio 5: Geradores CC***



## Requisitos para execução do ensaio

- Apresentar os princípios do funcionamento dos geradores CC, exibindo as equações elétricas e as suas curvas características de magnetização (destacando os conceitos de magnetismo residual, de histerese e de saturação).
- Apresentar os diferentes tipos de excitação dos geradores CC: independente, shunt, em série, composta aditiva e composta subtrativa, enfatizando o circuito equivalente e as equações elétricas.
- Mostrar a característica tensão terminal ( $V_L$ ) versus corrente de carga ( $I_L$ ) para cada tipo de conexão do gerador CC, justificando-as, sucintamente.
- Definir regulação de tensão.

## 1. Objetivos

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Construir a curva característica de tensão a vazio de geradores CC com excitação independente;
- b) Verificar a tensão residual;
- c) Comparar a curva obtida com a curva teórica.
- d) Construir a curva característica de tensão-carga de geradores CC com excitação independente e shunt auto-excitado;
- e) Verificar a regulação de tensão para ambos os casos;
- f) Comparar as duas curvas obtidas com as respectivas curvas teóricas.

## 2. Equipamentos utilizados

- a) Fontes e medidores da bancada;
- b) Máquina CC atuando como gerador;
- c) Máquina Síncrona atuando como motor;
- d) Tacômetro;
- e) Reostatos.

## 3. Atividade I

Antes do início do ensaio, anote os dados de placa do motor síncrono e do gerador CC, considerando-se as conexões escolhidas para cada um deles. Neste experimento, a máquina CC opera como gerador. Portanto, ela deve ter um acionamento mecânico, a partir do qual

ela produzirá energia elétrica. Neste caso, o motor síncrono opera como a máquina primária de energia mecânica, acionando o eixo do gerador CC. Pelas características intrínsecas ao funcionamento do motor síncrono, o gerador CC será acionado com uma velocidade constante.

### 3.1) Conexão com motor síncrono

Para fazer a conexão do motor síncrono, deve-se seguir o procedimento descrito abaixo. É importante compreender bem este procedimento, uma vez que o mesmo será utilizado em outros experimentos.

- Identificar os terminais da máquina síncrona e as suas diferentes conexões, observando atentamente a sua placa ;
- Fazer a ligação trifásica para 220 V<sub>CA</sub>, em  $\Delta$  paralelo (terminais L1, L2 e L3 da fonte);
- Conectar o enrolamento de campo do motor síncrono em série com o reostato de campo (10  $\Omega$ ) e com a fonte de 12 V<sub>CC</sub>, conforme mostrado na Figura 1.

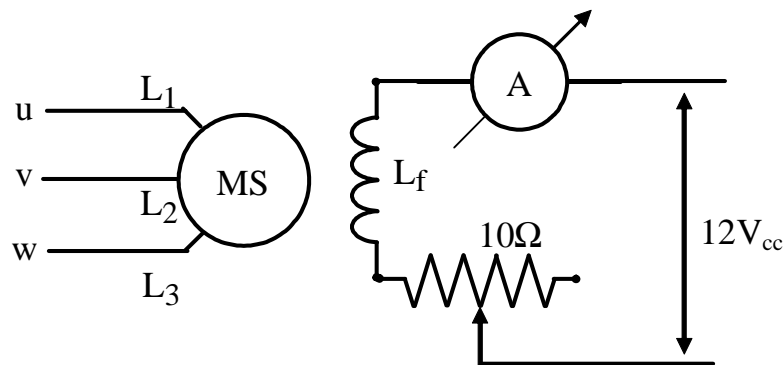


Figura 1 - Máquina síncrona operando como motor.

**OBS: Ajuste o reostato de 10 $\Omega$  para o seu valor máximo. Se for necessário, vá reduzindo o valor do reostato (aumentando assim a corrente de campo) até que a máquina entre em sincronismo.**

### 3.2) Conexão do gerador CC com excitação independente

Para se fazer a conexão da máquina CC como gerador, deve-se seguir o procedimento descrito abaixo. É importante compreender bem este procedimento, uma vez que o mesmo será utilizado em outros experimentos.

- Identificar os terminais dos enrolamentos da máquina CC : enrolamento de armadura, enrolamento de interpólo, enrolamento de campo *shunt* (ou derivação) e enrolamento série ;
- Conectar o enrolamento de campo da máquina CC para que ela opere com excitação independente, conforme mostrado na Figura 2.

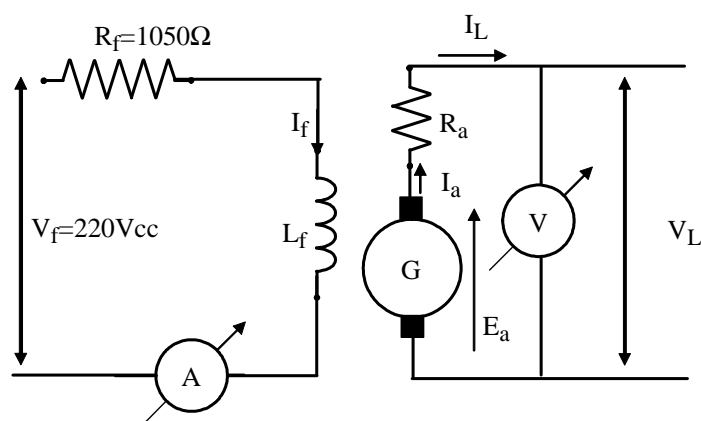


Figura 2 - Máquina CC com excitação independente operando como gerador.

### 3.3) Partida e parada do grupo motor-gerador

A sequência a seguir deverá ser seguida **com rigor** tanto para partir como para parar o grupo motor-gerador, a fim de se evitar riscos e esforços exagerados para os equipamentos.

**Passo1:** Abrir o circuito de campo do gerador CC.

**Passo2:** Abrir o circuito de campo do motor síncrono.

#### Ligando o motor síncrono:

**Passo3:** Aplique 220 V<sub>CA</sub> no motor síncrono.

**Passo4:** Feche o circuito de campo do motor síncrono, com o reostato ajustado para o máximo de sua resistência, o que equivale a sua excitação mínima.



## 4. Atividade II

### 4.1) Gerador CC com excitação independente

Para obter a característica tensão terminal em função da corrente de carga do gerador CC com excitação independente, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir e montar o circuito da Figura 3. Note que, durante todo o ensaio, a rotação e a corrente de excitação ( $I_f$ ) devem permanecer constantes.

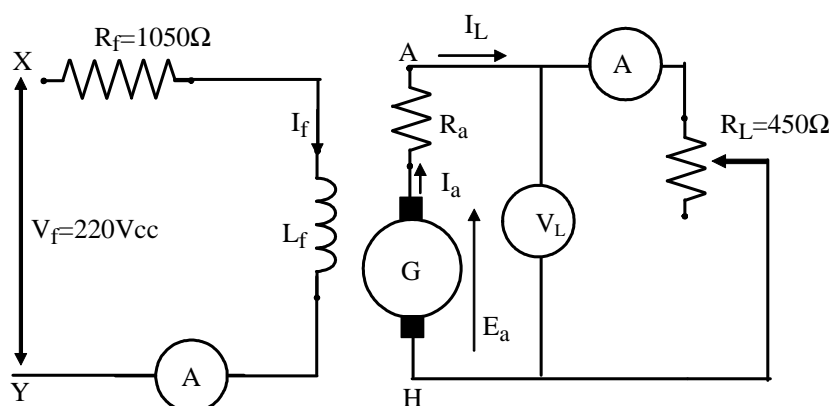


Figura 3 – Gerador CC com excitação independente.

### 4.1) Partida e parada do grupo motor-gerador

A sequência a seguir deverá ser seguida com rigor tanto para partir como para parar o grupo motor-gerador, a fim de se evitar riscos e esforços exagerados para os equipamentos.

**Passo1:** Abrir o circuito de campo do gerador CC.

**Passo2:** Abrir o circuito de campo do motor síncrono.

#### Ligando o motor síncrono:

**Passo3:** Aplique 220 V<sub>CA</sub> no motor síncrono.

**Passo4:** Feche o circuito de campo do motor síncrono, com o reostato ajustado para o máximo de sua resistência, o que equivale a sua excitação mínima.

**Passo5:** Aumente a corrente de campo do motor síncrono até o seu máximo valor (diminuir o reostato de 10Ω até o seu mínimo valor).

**Passo6:** Verifique a velocidade com o tacômetro: \_\_\_\_\_ rpm.

**Ligando o gerador cc:**

**Passo7:** Desconecte a carga  $R_L$  (a qual deve iniciar no seu valor máximo).

**Passo8:** Feche o circuito de campo do gerador CC e aplique 220 V<sub>CC</sub> com o reostato de campo ajusto no seu valor máximo, isto é, mínima excitação.

**Passo9:** Ajuste o reostato  $R_f$  (1050 $\Omega$ ) até obter 220V na saída do gerador (tensão nominal). Verifique a corrente de campo: \_\_\_\_\_ A

**Passo10:** Para situação de  $I_L$  zero (carga desconectada) preencha a segunda coluna da Tabela 1.

**Passo11:** Conecte a carga  $R_L$  faça as leituras dos aparelhos e preencha a terceira coluna da Tabela 1.

**Passo12:** Vá diminuindo  $R_L$  até chegar a aproximadamente  $I_L = 1,8$  A (que é a corrente nominal fornecida pelo gerador CC. Veja nos dados de placa).

**Desligando o gerador cc:**

**Passo13:** Reduza  $I_L$ , desconecte a carga  $R_L$ . Reduza a corrente de campo do gerador CC, reduza a tensão aplicada nos enrolamentos de campo, desconecte o enrolamento de campo.

**Desligando o motor síncrono:**

**Passo14:** Ajuste o reostato de 10 $\Omega$  para o seu máximo valor de modo a se ter uma corrente mínima de excitação.

**Passo15:** Desconecte o circuito de campo.

**Passo16:** Reduza a tensão de armadura aplicada.

**Passo17:** Desligue a bancada.

Tabela 2 – Gerador CC com excitação independente.

$I_L$ [A]	0										
$V_L$ [V]											

**5. Atividade III****5) Gerador CC auto-excitado**

Para excitar os enrolamentos de campo do gerador CC utilizando a própria tensão gerada da máquina, você deve conectar os pontos X e Y da Figura 3 nos pontos A e H da mesma figura. O processo de partida da máquina é idêntico ao caso anterior, porém há uma observação. Quando o enrolamento de campo da máquina CC for conectado, verifique se a tensão residual gerada aumenta ou diminui. Se aumentar, OK, prossiga o experimento. Se reduzir inverta os cabos que ligam o enrolamento de campo, ao fazer isso a tensão deverá aumentar. O procedimento para desligar é idêntico ao caso anterior. Preencha a Tabela 3 com os dados medidos.

Tabela 3 – Dados medidos com excitação shunt.

$I_f$ [A]											
$I_L$ [A]	0										
$V_L$ [V]											

## 6. Atividade IV

### 6.1) Regulação de Tensão

Calcule a regulação de tensão para os dois casos analisados. Preencha a Tabela 4.

Tabela 4 – Regulação de Tensão.

	Excitação independente	Excitação em derivação
RV		

## 7. Atividade V

- 1) Traçar as curvas de magnetização ascendente e descendente da máquina CC, observando o magnetismo residual, a saturação e a histerese magnética.
- 2) Traçar as curvas das características  $V_L \times I_L$  do gerador CC para as excitações independente e shunt, de acordo com os valores adquiridos nos ensaios.
- 3) Comparar as curvas obtidas com as curvas teóricas características de cada tipo de conexão do gerador CC.
- 4) Traçar as curvas de regulação de tensão x corrente de carga para as configurações excitação independente e excitação shunt.



Universidade de Brasília (UnB)  
Faculdade de Tecnologia (FT)

Departamento de  
Engenharia Elétrica (ENE)



## ***Ensaio 6: Motor CC***



## Requisitos para execução do ensaio

- Ler atentamente o roteiro com o objetivo de se identificar quais são os resultados que se espera adquirir com a execução do ensaio.
- Responder as perguntas do questionário referentes ao ensaio 05 e 06 (material no moodle).
- Considerando-se as variáveis a serem adquiridas com a execução do experimento, apresentar as equações e (ou) métodos necessários para se alcançar os gráficos e (ou) valores esperados no ensaio.
- Explicar o princípio de funcionamento dos motores CC, enfatizando os circuitos equivalentes para as diversas conexões e as suas respectivas equações elétricas.
- Mostrar nas equações do motor CC, as relações entre as variáveis: conjugado eletromagnético, conjugado de carga, velocidade de rotação, tensão de armadura, corrente de excitação de campo e fluxo de excitação de campo.
- Mostrar as características CONJUGADO x VELOCIDADE para os diferentes tipos de excitação dos motores CC: independente, shunt, em série, composta aditiva e composta subtrativa.
- Apresentar os métodos de controle de velocidade do motor CC.

## 1. Objetivo

O objetivo desse ensaio é:

- a) Estudar os diferentes esquemas de excitação dos motores de corrente contínua (CC) por meio da análise das características de funcionamento com carga mecânica variável e por meio do controle de velocidade com carga mecânica constante.
- b) Obter as características conjugado x velocidade.
- c) Verificar a influência da tensão de armadura aplicada  $V_a$  e da corrente de campo  $I_f$  (e conseqüentemente a influência do fluxo magnético no entreferro) na velocidade do motor.

## 2. Equipamentos utilizados

- a) Fontes e medidores da bancada;
- b) Máquina CC;
- c) Tacômetro;
- d) Reostatos.

### 3. Atividade I

Antes do início do ensaio, anote os dados de placa do motor CC e do gerador CC, considerando-se as conexões escolhidas para cada um deles. Neste experimento, a máquina CC opera como motor, transformando a potência elétrica recebida na entrada (tensão e corrente) em potência mecânica fornecida no seu eixo (torque e velocidade)

#### 3.1) Características Tensão de armadura x velocidade e velocidade x corrente de campo - Excitação independente

Para obter as características demandadas, adote o seguinte procedimento:

**Passo1:** Construa o circuito mostrado na Figura 1.

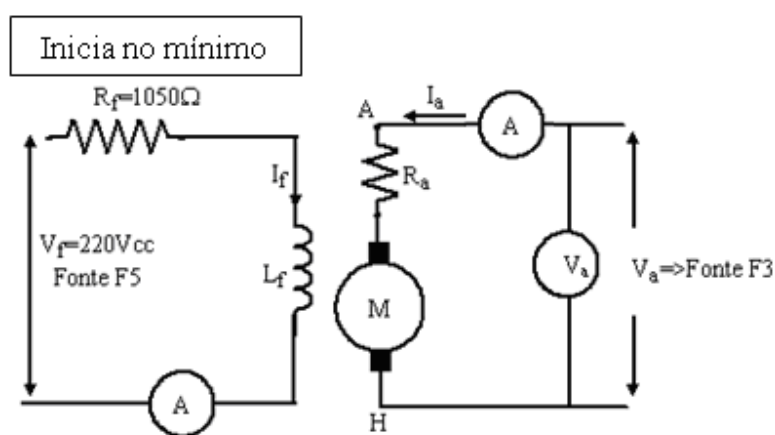


Figura 1 – Motor CC – Excitação independente

**Passo2:** Ajuste o reostato de campo  $R_f$  para o seu **MÍNIMO** valor.

**QUANDO O MOTOR CC ESTIVER EM FUNCIONAMENTO, ELE NÃO DEVERÁ TER A EXCITAÇÃO DE CAMPO ANULADA. ISSO RESULTARÁ EM UMA GRANDE VELOCIDADE QUE PODERÁ QUEIMAR O MOTOR.**

**Iniciando o ensaio:**

**Passo3:** Aplique a tensão contínua de 220V no enrolamento de campo do motor CC por meio da chave F5. (o motor não vai girar!)

**Passo4:** Verifique no amperímetro o valor da corrente de campo. Esta deve ser algo em torno de 260 a 300 mA.

**Passo5:** Comece a aplicar tensão contínua no circuito de armadura do motor CC, por meio da chave F3. Varie a tensão aplicada conforme valores especificados na Tabela 1.

**Por exemplo:** Ao aplicar 100 V<sub>cc</sub> preencha os campos da Tabela 1, para cada valor especificado de corrente de campo. Os diferentes valores de corrente de campo I<sub>f</sub> serão obtidos alterando o valor da resistência de campo R<sub>f</sub>.

Tabela 1 – Motor CC – Excitação independente

V <sub>a</sub> [V]	I <sub>f</sub> = 300mA (com o reostato no mínimo)		I <sub>f</sub> = 200mA		I <sub>f</sub> = 150mA	
	n[rpm]	I <sub>a</sub> (A)	n[rpm]	I <sub>a</sub> (A)	n[rpm]	I <sub>a</sub> (A)
100						
120						
140						
160						
180						
200						
220						

**Para desligar o motor:**

**CUIDADO AO DESLIGAR O MOTOR:  
 FAÇA O PROCESSO INVERSO: AUMENTE A CORRENTE DE CAMPO,  
 REDUZINDO O VALOR DO REOSTATO, RETIRE A TENSÃO APLICADA  
 NA ARMADURA. RETIRE A TENSÃO APLICADA NO CAMPO E  
 FINALMENTE, DESLIGUE A BANCADA.**

#### 4. Atividade II

Neste ensaio a variação da carga será feita de modo indireto, ou seja, através do emprego da resistência conectada à armadura do gerador.

A excitação do enrolamento de campo do gerador CC será do tipo shunt auto-excitado.

#### 4.1) Excitação independente do motor CC

Para se obter a característica velocidade-carga do motor CC com excitação independente, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir.

**Passo1:** Construa os circuitos mostrados nas Figuras 2 e 3.

**Para a máquina funcionando como motor CC:**

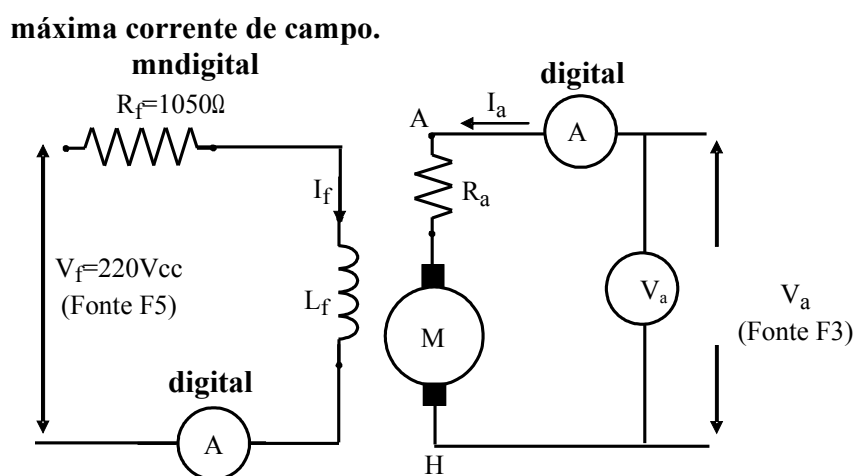


Figura 2 – Motor CC – Excitação independente

**Para a máquina funcionando como gerador CC:**

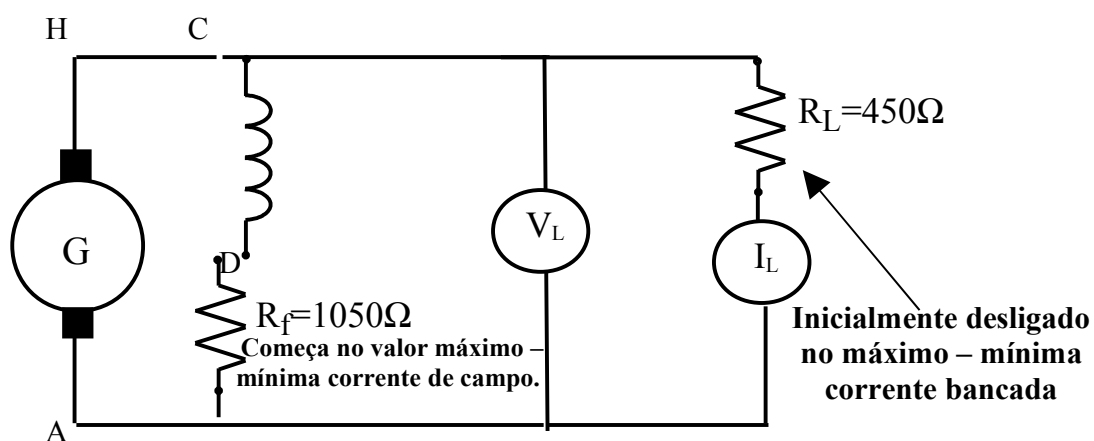


Figura 3 – Gerador CC Shunt – Auto-Excitado.

**Iniciando o ensaio:**

**Passo2:** Desconecte a carga.

**Passo3:** Desconecte o enrolamento de campo do gerador CC.

**Passo4:** Ajuste o reostato de campo do motor CC para o seu mínimo valor de resistência.

**Passo5:** Ligar o circuito de campo do motor CC, ajustando a corrente de campo para o seu valor máximo ( $\approx 260$  a  $300$  mA) **(CHAVE F5)**

**Passo6:** Partir o motor CC, com os circuitos de campo do gerador CC desligados e com a carga desconectada.

**Passo7:** Aumente gradativamente a tensão de armadura  $V_a$  até atingir o seu valor nominal de  $220V$  **(CHAVE F3)**

**Passo8:** Verifique a velocidade do motor CC. Ajuste a velocidade para  $1800$  rpm através da variação da sua corrente de excitação.

**Passo9:** Conecte o enrolamento de campo do gerador CC. Verifique se a tensão residual aumenta ou diminui. Se caso diminuir, inverta a conexão.

**Passo10:** Ainda sem carga, ajuste o reostato de campo do gerador CC até verificar no voltímetro a tensão nominal de  $220$  V

**Passo11:** Ajuste, se caso necessário, o reostato de campo do motor CC para ter  $1800$  rpm.

**QUANDO AS DUAS MÁQUINAS ESTIVEREM EM SEUS VALORES  
NOMINAIS – INICIE AS MEDIÇÕES**

**VALORES NOMINAIS  
MOTOR CC –  $1800$  RPM  
GERADOR CC –  $220$  V**

**Passo12:** Preencha a Tabela 2 com os dados medidos nos aparelhos, variando a carga de  $450\ \Omega$  e verificando no amperímetro a corrente de armadura  $I_a$  que deverá variar até o seu máximo valor de  $2,2$  A (dado de placa do motor CC)

**Atenção:** O valor nominal da corrente  $I_L$  é de  $1,6$  A, portanto deverá acontecer uma verificação de ambas as correntes, para que o gerador não fique sobrecarregado.

Tabela 2 – Medições realizadas no motor e gerador CC

MOTOR CC		GERADOR CC – dados medidos na carga	
$I_a$ [A]	$n$ [rpm]	$V_L$ [V]	$I_L$ [A]
	1800	220	0

Tensão de campo do motor CC = \_\_\_\_\_  
 Corrente de campo do motor CC = \_\_\_\_\_

**Atenção:** para desligar FAÇA ....

Volte o reostato de carga para o máximo;  
 Desconecte a carga;  
 Volte o reostato de campo do gerador CC para o máximo  
 Desconecte o campo do gerador CC  
 Reduza a tensão da chave F3  
 Reduza a tensão da chave F5  
 Desligue a bancada.

#### 4.2) Excitação shunt do motor CC

##### No motor CC:

A única alteração a ser feita é retirar os condutores da chave F5, utilizada para excitar os enrolamentos de campo no item 4.1, e conectá-los nos pontos A – H.

As demais etapas seguem o procedimento especificados no item 4.1.

**Atenção:** o motor pode não partir mesmo com a execução de todas as recomendações do guia. Neste caso, inverta os cabos que ligam os enrolamentos de campo.

Anote na Tabela 3 os resultados adquiridos.

Tabela 3 – Medições realizadas no motor e gerador CC

MOTOR CC		GERADOR CC – dados medidos na carga	
$I_a$ [A]	$n$ [rpm]	$V_L$ [V]	$I_L$ [A]
	1800	220	0

Tensão de campo do motor CC = \_\_\_\_\_

Corrente de campo do motor CC = \_\_\_\_\_

**Para desligar, realize os procedimentos sugeridos e descritos quando da configuração com excitação independente, considerando-se as devidas diferenças!**

## ***Ensaio 7: Motor de Indução 3 $\phi$***



## 1. Objetivos

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Analisar o comportamento do motor de indução 3 $\phi$ ;
- b) Realizar os ensaios a vazio e com rotor bloqueado;
- c) Obter os parâmetros do circuito equivalente do motor.

## 2. Equipamentos utilizados

- a) Motores de indução;
- b) Tacômetro;
- c) Wattímetros;
- d) Cabos;
- e) Disjuntor.

## 3. Atividade I:

Verifique os dados de placa do motor de indução trifásico (MIT) de 4 pólos e preencha a Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de placa do MIT

Tensão nominal de linha	220 V
Corrente nominal de linha	
Frequência	
Potência kW	
Fator de potência	
Velocidade nominal do rotor	

## 4. Atividade II:

Calcule a velocidade síncrona em RPM do motor:  $N_s =$

### 5. Atividade III:

Passo 1: Faça a conexão de 220 V no estator da máquina;

Passo 2: Curte-circuite o rotor para que o motor de indução seja do tipo gaiola de esquilo (o motor do laboratório é do tipo rotor bobinado);

Passo 3: Conecte a fonte 3 $\phi$  da bancada (Chave F2) no estator da máquina;

Passo 4: Ligue a bancada e aplique 220 V;

Passo 5: Verifique a velocidade do rotor com o tacômetro.

$N_r =$

Passo 6: Diminua a tensão até 0 V, observando o sentido de rotação do motor. Desligue a bancada

Passo 7: Calcule o escorregamento a vazio:

$s =$

### 6. Atividade IV:

Usando a mesma configuração do MIT da Atividade III, inverta duas fases, ligue o motor e verifique para que lado o motor está girando. Compare com o que você observou no passo 6 da Atividade III. Desligue a bancada

### 7. Atividade V:

Desconecte uma fase do estator do MIT. Tente partir a máquina.

Anote os aspectos observados.

### 8. Atividade VI:

Parta o motor com as 3 fases. Quando o MIT estiver operando com a tensão nominal desconecte uma das fases (com o motor ligado).

Verifique também a velocidade do rotor nessa situação:  $N_r =$

## 9. Atividade VII:

Passo 1: Faça a ligação da Figura 1, considerando-se que S é um disjuntor. MIT<sub>1</sub> e MIT<sub>2</sub> são dois motores de indução do tipo gaiola de esquilo.

**Atenção:** o MIT<sub>2</sub> será ligado no estator do MIT<sub>1</sub>.

Passo 2: Com o disjuntor aberto, aplique 220 V no MIT<sub>1</sub>

Passo 3: Com o MIT<sub>1</sub> rodando desconecte uma fase

Passo 4: Feche o disjuntor

Anote as observações da equipe.

Passo 5: Reduza a tensão aplicada. Desligue a bancada

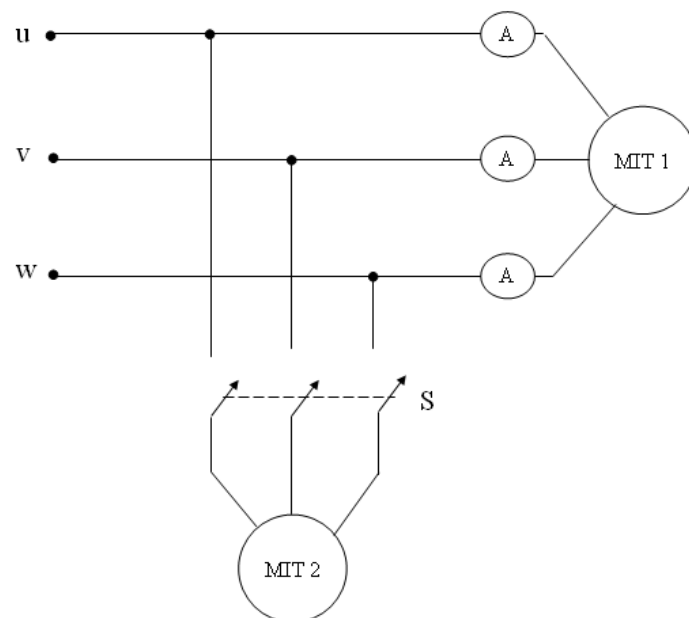


Figura 1 – MIT<sub>1</sub> e MIT<sub>2</sub> em paralelo.

**10. Atividade VIII: Ensaio a vazio e de rotor bloqueado**

Passo 1: Faça a ligação da Figura 2. Os Wattímetros devem ser ligados na escala de 5 A.

**Parte 1 - A VAZIO**

Passo 2: Aplique tensão nominal de 220 V e preencha a Tabela 2:

Passo 3: Reduza a tensão e desligue a bancada.

**Parte 2 - ROTOR BLOQUEADO**

Passo 4: Um componente da equipe deverá ficar bloqueando com a mão o rotor da máquina

Passo 5: Aplique corrente nominal de 1,6 A e preencha a Tabela 2:

Passo 6: Reduza a tensão e desligue a bancada.

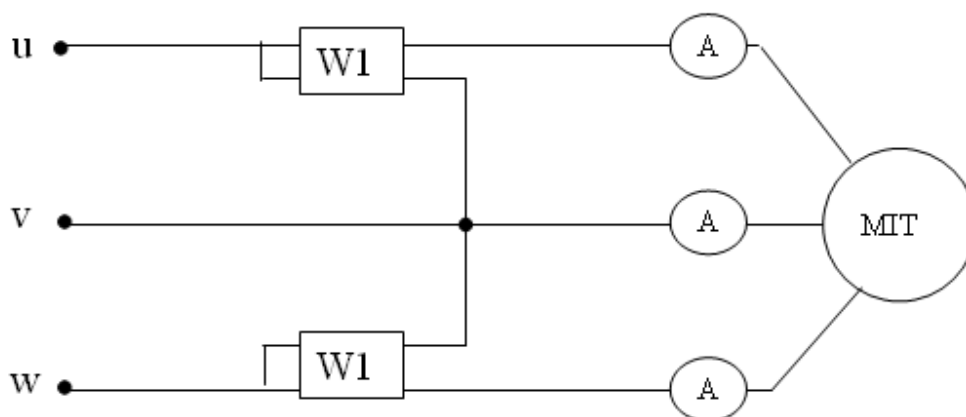


Figura 2 – Para o ensaio a vazio e com rotor bloqueado

Tabela 2 – Medições realizadas no ensaio.

	Ensaio a vazio	Rotor bloqueado
Tensão	220 V	
Corrente		1,6 A
Potência de entrada		

**Parte 3 - RESISTENCIA DO ENROLAMENTO DO ESTATOR**

Passo 7: Verifique com o ohmímetro a resistência do enrolamento do rotor. Para isso você deverá abrir a conexão delta. Faça o teste nas 3 fases para verificar se as resistências possuem o mesmo valor.

$R_1 =$

**Parte 4 - CALCULO DAS GRANDEZAS DO CIRCUITO DO MIT POR FASE**

Passo 8: Apresente os cálculos das grandezas do circuito



Universidade de Brasília (UnB)  
Faculdade de Tecnologia (FT)

Departamento de  
Engenharia Elétrica (ENE)



## ***Ensaio 8: Motor de Indução $3\phi$ - Rotor bobinado***

## 1. Objetivos

Os objetivos desse ensaio são:

- Verificar a variação da velocidade de um motor de indução trifásico com rotor bobinado (MIRB) através da variação de sua resistência rotórica.
- Obter as características do conjugado em função da velocidade e da corrente em função da velocidade para diferentes valores de resistência do rotor.

## 2. Equipamentos utilizados

- Bancada (fontes, medidores, etc.) ;
- Motor de indução rotor bobinado (MIRB) ;
- Voltímetros (CC e CA) ;
- Amperímetros (CC) ;
- Reostatos
- Wattímetros ; e
- Estroboscópio ou tacômetro.

## 3. Atividade I:

Verifique os dados de placa do motor de indução trifásico (MIT) de 4 pólos e preencha a Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de placa do MIT

Tensão nominal de linha	220 V
Corrente nominal de linha	
Frequência	
Potência kW	
Fator de potência	
Velocidade nominal do rotor	

## 4. Atividade II:

Para se observar a variação da velocidade com a variação da resistência do rotor, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir.

- Medir a resistência original do rotor do MIRB ;
- Realizar a montagem do MIRB, com o reostato trifásico conectado ao circuito do rotor (Figura 01) ;
- Variar  $R_r$ , medindo  $\square_r$  e as resistências inseridas ;

d) Anotar os valores na Tabela 01.

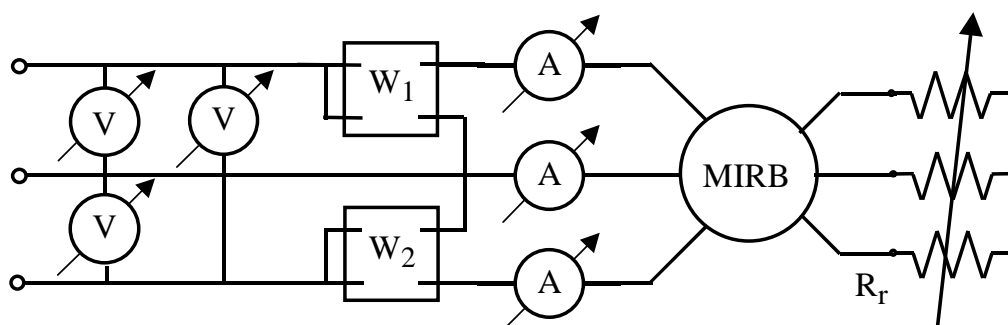
**Tabela 01 : MIRB – Controle de velocidade.**

<b>R<sub>r</sub>= ohms □ (valor original)</b>											
<b>R<sub>r</sub> [ohm]</b>											
<b>w<sub>r</sub> [rpm]</b>											

### 5. Atividade III:

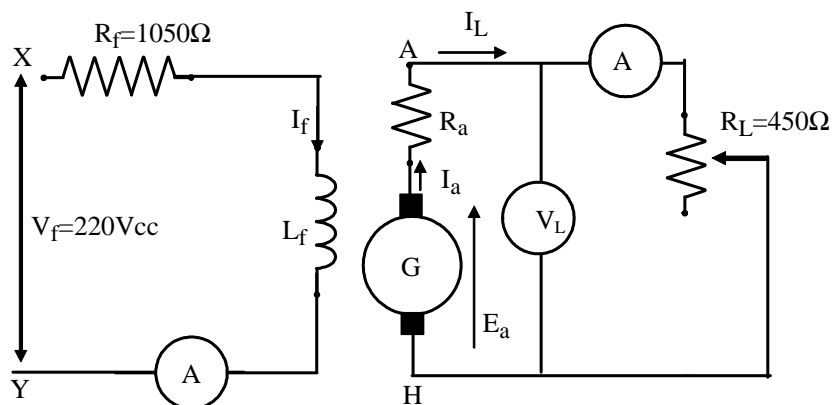
Para se obter as curvas conjugado-velocidade e corrente-velocidade, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir. Note que a carga do MIRB é uma máquina CC operando como gerador, com uma carga (elétrica) resistiva.

- 1) Realizar a montagem apresentada na Figura 01, utilizando como carga uma máquina CC operando como gerador (ver Figura 02) ;
- 2) Partir o MIRB, com  $R_r=0$  e o gerador CC sem carga, ou seja, com os circuitos de campo e de carga do gerador CC abertos;
- 3) Ajustar  $V_L$  (tensão terminal do gerador CC) para o seu valor nominal, variar  $R_L$  (carga do gerador CC) para que  $I_L$  varie de 0 (zero) até o seu valor nominal ;
- 4) Para cada valor de corrente de carga do gerador CC, anotar os valores medidos na Tabela 02 ;
- 5) Variar  $R_r$  (reostato do rotor do MIRB) ;
- 6) Repetir este procedimento para um novo valor de resistência no rotor do MIRB.



**Figura 01 : MIRB – Característica com carga.**





**Figura 02 : Diagrama de ligação do gerador CC.**

***Tabela 02 : MIRB – Característica com carga.***

[illegible]

## 6. Atividade IV:

Com os resultados obtidos no ensaio, pede-se :

- Traçar a curva da velocidade em função da resistência do enrolamento do rotor do MIRB ;
- Supondo que o rendimento do MIRB seja 20% maior que o do gerador CC, traçar as características do conjugado em função da velocidade e da corrente em função da velocidade para os dois valores da resistência do enrolamento do rotor do MIRB.



Universidade de Brasília (UnB)  
Faculdade de Tecnologia (FT)

Departamento de  
Engenharia Elétrica (ENE)



## ***Ensaio 9 - Máquina Síncrona***

## 1. Objetivo

Os objetivos desse ensaio são:

- a) Realizar os ensaios de circuito aberto e de curto-circuito do gerador síncrono.
- b) Traçar as curvas de magnetização e de corrente de curto-circuito.
- c) Estimar o valor da impedância síncrona
- d) Observar as condições necessárias ao acoplamento do gerador síncrono à rede e estabelecer o paralelismo.

## 2. Equipamentos utilizados

- a) Bancada (fontes, medidores)
- b) Máquina síncrona, como motor
- c) Máquina síncrona, como gerador
- d) Amperímetros
- e) Tacômetro
- f) Reostato de  $10\ \Omega$
- g) Chave tripolar

## 3. Atividade I

Uma máquina síncrona opera como motor e a outra como gerador. Efetue a montagem necessária para acionar o motor, colocando-o a velocidade nominal. O motor síncrono será alimentado pela tensão da rede e fornecerá potência mecânica no seu eixo.

### 3.1) Motor Síncrono

Para fazer a conexão do motor síncrono, deve-se seguir o procedimento descrito abaixo.

- Identificar os terminais da máquina síncrona e as suas diferentes conexões, observando atentamente a sua placa ;
- Fazer a ligação trifásica para 220 V, em  $\Delta$  (terminais L1, L2 e L3 da fonte) ;
- Conectar o enrolamento de campo do motor síncrono em série com o reostato de campo ( $10\ \Omega$ ) e com a fonte de 12 V (CC), conforme mostrado na Figura 1, com o **reostato ajustado para o valor máximo de sua resistência**.

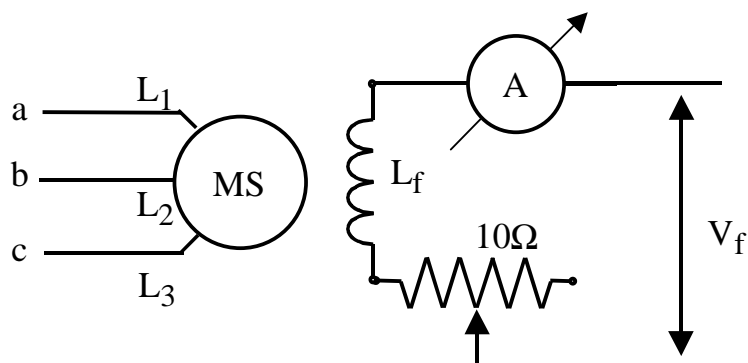


Figura 1 - Máquina síncrona operando como motor.

### Lembrando como se parte o motor síncrono:

Aplique 220 V com o enrolamento de campo desconectado.

Ligue o campo.

Ajuste o reostato de campo (se for necessário) até o motor atingir 1800rpm.

### 3.2) Gerador Síncrono: ENSAIO A VAZIO

Após ter realizado as ligações do motor síncrono, faça as ligações do gerador síncrono. Monte o circuito apresentado na Figura 2.

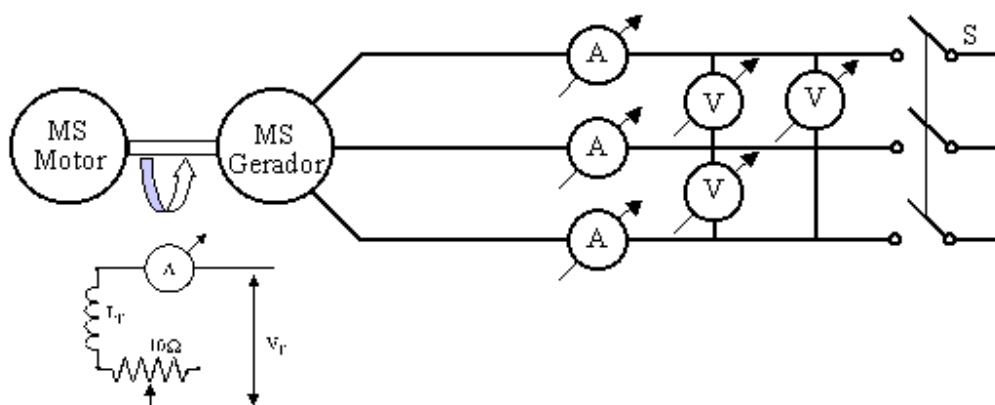


Figura 02 - Gerador Síncrono – circuito aberto.

- Variar  $i_f$  do gerador de 0 (zero) até o seu valor máximo;
- Anotar os valores na Tabela 01.

**Tabela 01 : Alternador Trifásico – Característica a vazio.**

$I_f$ [A]	$V_1$ [V]	$V_2$ [V]	$V_3$ [V]	$V_{media}$ [V]

### 3.3) Gerador Síncrono: ENSAIO DE CURTO-CIRCUITO

Para obter esta característica, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir :

- Ainda no circuito da Figura 02, fazer  $i_f=0$  do gerador;
- Fechar a chave S, anotando a velocidade do motor ;
- Aumentar  $i_f$  do gerador de 0 (zero) até que a média das correntes no estator seja ligeiramente superior à corrente nominal ;
- Anotar os valores na Tabela 02;
- Com a máquina ainda quente, medir a resistência por fase do estator.

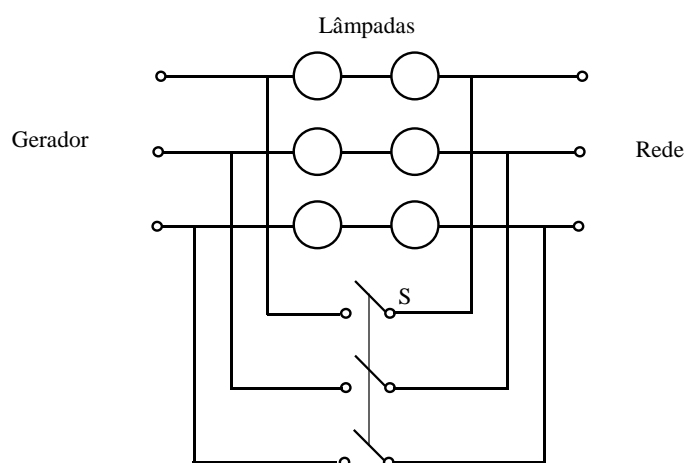
**Tabela 02** : Gerador Trifásico – Característica em curto-circuito.

$\omega_r =$	[rpm]			$R_a =$	[ $\Omega$ ]
$I_f$ [A]	$I_1$ [A]	$I_2$ [A]	$I_3$ [A]	$I_{media}$ [A]	

### 3.4) Paralelismo Gerador – rede elétrica

Para sincronizar o alternador à rede elétrica, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir :

- Aproveitando a montagem do experimento anterior, realizar a montagem do circuito apresentado na Figura 02, mantendo a chave S aberta ;

**Figura 02** : Grupo Motor-Gerador Síncrono – Paralelismo com a rede.

- Acionar o motor síncrono, anotando a sua velocidade de regime permanente;

- Ajustar a tensão do gerador síncrono para o valor da tensão da rede, por meio da variação de  $i_f$  ;
- Com o auxílio das lâmpadas, verificar se a sequência de fases é a mesma para o gerador e para a rede. Neste caso, todas as lâmpadas têm a mesma intensidade luminosa e acendem e apagam ao mesmo tempo;
- Quando as lâmpadas permanecerem apagadas por um longo período, fechar a chave S para conectar o gerador à rede, estabelecendo o paralelismo entre eles.

### 3.5) Discussão

Com os resultados obtidos no ensaio, pede-se :

- Traçar as curvas de corrente de campo pela tensão de armadura (ensaio a vazio) e corrente de campo pela corrente de armadura (ensaio de curto-circuito), expressando as grandezas por fase ;
- Explicar o procedimento adotado para se colocar em paralelo a rede elétrica e o gerador;
- Calcular a relação de curto-circuito e a impedância síncrona saturada para a tensão nominal e para a metade deste valor.

## II. APÊNDICE A - GUIAS DE ESTUDO



## Guia de estudo para o experimento 1

- 1) Por que os MIT são utilizados em larga escala nas instalações industriais e comerciais no Brasil?
- 2) Em que o motor de indução é semelhante ao transformador?
- 3) Quais os dois tipos de rotores utilizados no MIT, características construtivas e aplicações?
- 4) Como se obtém as grandezas do circuito equivalente do MIT?

LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

## Guia de estudo para experimentos 2 e 3

- 1) O MIT é apropriado para aplicações que requerem uma ampla faixa de variação de velocidade? Desenvolva seu raciocínio.
- 2) Explique cada um dos métodos de controle de velocidade aplicado em motores de indução trifásicos.
  - Mudança no número de pólos
  - Variação da frequência dos motores
  - Variação da tensão aplicada
  - Variação da resistência do rotor
- 3) Quais dos quatro métodos de controle de velocidade se aplica apenas aos motores de indução de rotor bobinado e não ao motor de gaiola? E por que?
- 4) Apresente no mesmo gráfico, as curvas típicas de Torque X Velocidade de um MIT com rotor bobinado, para três valores distintos da resistência do rotor, onde  $R_1 < R_2 < R_3$ .



- 5) O torque máximo é independente da resistência do enrolamento do rotor?

## Guia de estudo para experimento 4

- 1) Qual princípio de funcionamento dos geradores CC?
- 2) Desenhe os circuitos equivalentes e as respectivas equações dos seguintes tipos de gerador CC: excitação independente, shunt (auto excitado) e série .
- 3) Comente sobre as perdas magnéticas por histerese e corrente de Foucault.
- 4) O que é escorvamento?
- 5) Quais os parâmetros que influenciam na tensão terminal? Como a variação de tensão influencia na carga e a importância de regulação de tensão?
- 6) Qual a função dos enrolamentos compensadores e os interpólos nos geradores de grande porte?
- 7) Um gerador de derivação (shunt) tem uma resistência no circuito da armadura de  $0,4\Omega$ , uma resistência no circuito de campo de  $60\Omega$  e uma tensão terminal de 120 V quando está fornecendo uma corrente de carga de 30 A. Calcule:
  - a) A corrente de campo
  - b) A corrente na armadura
  - c) As perdas no cobre
  - d) Se as perdas rotacionais forem de 350 W, qual a eficiência?

## Guia de estudo para experimento 5

- 1) Quais as vantagens e desvantagens dos motores CC quando comparado com os motores CA (síncronos e assíncronos)?
- 2) Desenhe os circuitos equivalentes e as respectivas equações dos seguintes tipos de motores CC: excitação independente, shunt (auto excitado), série e composto.
- 3) Para que servem os anéis comutadores em um motor CC?
- 4) Quais os métodos disponíveis de controle de velocidade de um motor CC? Explique cada um deles.
- 5) (Del Toro – pág. 339) Um motor em derivação de 5 HP, 113 V, 1.150 rpm, tem uma resistência de armadura de  $0,2 \Omega$ . Quando entregando a saída nominal, o motor solicita uma corrente de rede de 40 A. O enrolamento de campo tem uma resistência de  $65 \Omega$ . Despreze o efeito de desmagnetização da fmm de armadura.
  - a) A corrente de campo
  - b) A corrente na armadura
  - c) A potência elétrica de entrada
  - d) A potência eletromagnética fornecida ao motor
  - e) O torque desenvolvido
  - f) As perdas rotacionais
  - g) As perdas no cobre
  - h) A eficiência
  - i) A regulação de velocidade
  - j) A velocidade do motor, quando o mesmo desenvolve um conjugado de 15 N.m

**LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA**

## Guia de estudo para experimentos 6 e 7

- 1) Quais as diferenças e semelhanças da máquina síncrona com a máquina CC?
- 2) Apresente o circuito equivalente em regime permanente da máquina síncrona, indicando os procedimentos para obtenção dos seus parâmetros.
- 3) Por que há um aumento de tensão ao aumentar a corrente de campo? Justifique.
- 4) Quais os procedimentos para calcular a reatância síncrona saturada e a não-saturada?
- 5) Para se conectar um novo gerador à rede (ou a um barramento infinito) é preciso inicialmente, sincronizar o novo gerador, e para tanto, quais são os ajustes necessários?

## Guia de estudo para experimento 8

- 1) Quais as diferenças entre gerador síncrono e motor síncrono?
- 2) Um motor síncrono não tem conjugado de partida. Explique os procedimentos para dar partida a um motor síncrono.
- 3) Explique o que é a curva V do motor síncrono e como essa máquina é importante para o setor elétrico.
- 4) (Chapman, exemplo 5-2) O motor síncrono de 208 V, 45HP, FP 0,8 adiantado, ligado em  $\Delta$ , 60 Hz,  $P_{ent} = 13,69$  kW. Está alimentando uma carga de 15 HP com um fator de potência inicial de FP 0,85 atrasado. A corrente de campo  $I_F$  nessas condições é 4 A.
  - a) Calcule  $E_A$ ,  $I_A$  e o fator de potência do motor.
  - b) Assuma que o fluxo do motor varie linearmente com a corrente de campo  $I_F$ . Faça um gráfico de  $I_A$  versus  $I_F$  para o motor síncrono com uma carga de 15 HP.

## II. APÊNDICE B - QUESTÕES PARA O MOODLE

## Questão para o moodle (Experimento 1)

Encontre os erros no texto abaixo:

O motor de indução trifásico opera normalmente com uma velocidade constante que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. É um motor complexo e caro, porém muito utilizado pela sua robustez. Ele acaba sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas, encontradas na prática. A vantagem do motor de indução com rotor bobinado em comparação ao de rotor de gaiola é que resulta numa construção do induzido mais rápida, mais prática e mais barata. O MIT tem uma quantidade reduzidas de componentes no motor, por isso é de rápida ligação à rede. O motor exige uma frequência contínua de manutenção, e isso que acaba deixando-o caro.



## Questão para o moodle (Experimento 2)

### QUESTÃO 1

Ano: 2013

Banca: BIO-RIO

Órgão: ELETROBRAS

Prova: Profissional de Nível Superior - Engenharia Elétrica

Considere o controle de velocidade de motores de indução trifásicos de gaiola que mantém a razão  $V / f$  constante. Reduzindo-se essas grandezas na mesma proporção, a partir dos valores nominais, pode-se afirmar que:

- a) fator de potência do motor diminuirá;
- b) o seu escorregamento diminuirá;
- c) o conjugado de partida do motor se manterá constante;
- d) o conjugado de operação do motor não dependerá da carga;
- e) o conjugado máximo do motor se manterá constante.

### QUESTÃO 2

Ano: 2010

Banca: FCC

Órgão: DPE-SP

Prova: Engenheiro Elétrico - Agente de Defensoria

Um motor de indução trifásico, 220 V, 60 Hz opera com rotação de 1710 rpm e escorregamento de 5%. Portanto, trata-se de um motor com número de polos igual a

- a) 1
- b) 3
- c) 4
- d) 7
- e) 10

## Questão para o moodle (Experimento 3)

### QUESTÃO 1

Ano: 2011

Banca: CESPE

Órgão: Correios

Prova: Analista de Correios - Engenheiro - Engenharia Elétrica

Julgue certo ou errado:

Um dos benefícios da instalação de inversores de frequência em motores de indução é a redução da corrente de partida, em comparação com aquela da partida direta, e, conseqüentemente, a redução das perdas por efeito Joule nos condutores que alimentam os motores.

- a) Certo
- b) Errado

### QUESTÃO 2

Ano: 2010

Banca: CESPE

Órgão: ABIN

Prova: Oficial Técnico de Inteligência – Área de Engenharia Elétrica

Julgue certo ou errado:

É usual realizar o controle de velocidade de motor de indução em gaiola por meio da inserção de reostatos no circuito do rotor, devidamente conectados.

- a) Certo
- b) Errado

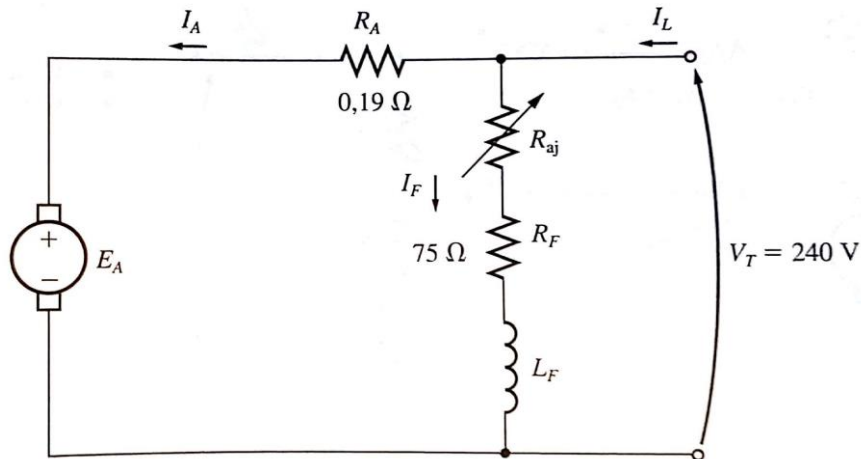
## Questão para o moodle (Experimento 4)

Relacione a primeira coluna com a segunda

Reação de armadura (.....)	( a ) pior regulação de tensão
Escorvamento (.....)	( b ) não se auto-excita sem carga
Poucas espiras de fio grosso (.....)	( c ) distorção do fluxo mag. no entreferro da máquina cc
Muitas espiras de fio fino (.....)	( d ) redução da reação de armadura
Enrolamentos de interpolo e compensação (.....)	( e ) necessidade de um fluxo residual
Shunt auto excitado (.....)	( f ) enrolamento de campo tipo shunt
Gerador série (.....)	( g ) enrolamento de campo tipo série

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### Questão para o moodle (Experimento 5)



Fonte : CHAPMAN, Stephen. **Electric machinery fundamentals**. Tata McGraw-Hill Education, 2013.

Se o resistor  $R_{aj}$  for ajustado para  $175 \Omega$ , qual será a velocidade de rotação do motor a vazio? Assumindo que não há reação de armadura, qual será a velocidade do motor a plena carga? Qual é a regulação de velocidade do motor?

Para precisão dos cálculos, plote a curva de magnetização abaixo. A primeira coluna são os valores da corrente de campo e os da segunda coluna da tensão gerada.

0	0
0.0132	6.67
0.03	13.33
0.033	16
0.067	31.30
0.1	45.46
0.133	60.26
0.167	75.06
0.2	89.74
0.233	104.4
0.267	118.86
0.3	132.86
0.333	146.46
0.367	159.78
0.4	172.18
0.433	183.98

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

0.467 195.04  
0.5 205.18  
0.533 214.52  
0.567 223.06  
0.6 231.2  
0.633 238  
0.667 244.14  
0.7 249.74  
0.733 255.08  
0.767 259.2  
0.8 263.74  
0.833 267.6  
0.867 270.8  
0.9 273.6  
0.933 276.14  
0.966 278  
1 279.74  
1.033 281.48  
1.067 282.94  
1.1 284.28  
1.133 285.48  
1.167 286.54  
1.2 287.3  
1.233 287.86  
1.267 288.36  
1.3 288.82  
1.333 289.2  
1.367 289.375  
1.4 289.567  
1.433 289.689  
1.466 289.811  
1.5 289.950

LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

## Questão para o moodle (Experimento 6)

Fonte: CHAPMAN, Stephen. **Electric machinery fundamentals**. Tata McGraw-Hill Education, 2013.

Um gerador síncrono trifásico ligado em Y, 25 MVA, 12,2 kV, 60 Hz, dois polos e FP 0,9 atrasado foi submetido a um ensaio de curto e a vazio. Abaixo os dados:

Ensaio a vazio					
Corrente de campo [A]	320	365	380	475	570
Tensão de linha [kV]	13	13,8	14,1	15,2	16

Ensaio de curto					
Corrente de campo [A]	320	365	380	475	570
Corrente de armadura [A]	1040	1190	1240	1550	1885

Calcule a reatância síncrona  $X_s$  saturada aproximada com uma corrente de 380 A. Expresse a resposta em ohms por fase e por unidade.

## Questão para o moodle (Experimento 7)

Fonte: CHAPMAN, Stephen. **Electric machinery fundamentals**. Tata McGraw-Hill Education, 2013.

Em uma cidade da Europa, é necessário fornecer 1000 kW de potência em 60 Hz. As únicas fontes de potência disponíveis operam em 50 Hz. Decide-se gerar a potência por meio de um conjunto de motor-gerador síncrono consistindo em um motor síncrono que aciona um gerador síncrono. Quantos polos deve ter o gerador para que a potência de 50 Hz seja convertida em 60 Hz se o motor tem 10 polos?

**LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA**

## Questão para o moodle (Experimento 8)

Julgue os três primeiros itens:

Em uma máquina síncrona que esteja operando como motor, o campo girante é oriundo de uma alimentação trifásica nos enrolamentos do estator, enquanto o enrolamento do rotor é alimentado com tensão contínua. ( )

O fator de potência de um motor síncrono pode ser controlado eficientemente variando-se a corrente de excitação de campo do motor. ( )

As tradicionais curvas em V de um motor síncrono relacionam corrente de armadura em função da corrente de excitação do motor, para um dado valor de potência reativa consumida ou absorvida pelo motor e um dado valor de magnitude de tensão terminal do motor. ( )

Marque a opção correta

Um motor síncrono opera com fator de potência 0,7 capacitivo. Se a carga mecânica não se alterar e a corrente de excitação aumentar, o seu fator de potência:

- a) não se alterará;
- b) diminuirá, mantendo- se capacitivo;
- c) aumentará, mantendo- se capacitivo;
- d) tenderá para valor unitário;
- e) tenderá para valor indutivo.



## II. APÊNDICE C - ROTEIROS

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### **Aplicação : bomba hidráulica**

Os motores de indução são os mais usados em instalações comerciais e industriais no país por ser mais barato e de fácil instalação. Esses tipos de máquinas são comumente chamadas de assíncronas por causa da diferença de velocidade entre o campo magnético girante do estator e o rotor (escorregamento).

Esses motores possuem diversas aplicações, como deslocamento de fluidos em bombas, ventiladores e compressores; também em processamento de materiais em moinhos, misturadores e diversas máquinas agrícolas. Similarmente, em manipulação de cargas em talhas, guindastes, esteiras, correias transportadoras, etc.

Um dos mais populares motores de indução é a bomba hidráulica. Essa máquina tem como função o transporte de fluidos, podendo ter diversas aplicações como: irrigação, abastecimento de água corrente, abastecimento de combustíveis, sistemas de condicionamento de ar, refrigeração, movimentação de produtos químicos, entre outros. Pela sua diversidade de destinos, há bombas de pequeno porte, grande porte, alta potência, uso residencial, industrial, etc.

Para especificar um motor destinado para um uso específico, as características da carga devem ser conhecidas, como a exigência de potência, o conjugado de partida, variação de velocidade, o meio onde o motor vai funcionar, o ciclo de funcionamento e sua manutenção. O engenheiro deve ter uma capacidade analítica capaz de dimensionar a carga, identificar as especificidades de cada fabricante e encontrar a solução economicamente viável para o seu cliente.



## **LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA**

O roteiro deste experimento conta com duas atividades que ajudarão a compreensão de um pequeno projeto. Uma aplicação onde há um poço artesanal com 3 metros de coluna de água e onde são necessários 250 litros de água para irrigação diariamente. O motor de indução trifásico usado na instalação é semelhante ao do laboratório e possui:

- Uma eficiência razoável
- Baixo custo de manutenção
- Frenagem por inversão de fases

A primeira atividade permitirá o cálculo da eficiência do motor e analisar a inversão de fases. Já a segunda mostrará a diferença de um MIT para um motor monofásico.

### **Roteiro 1**

#### Equipamentos utilizados:

Fontes e medidores;  
Máquina de Indução Trifásico;  
Tacômetro;  
Reostatos.

### **ATIVIDADE 1 : OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DO MIT**

Primeiramente, anote os dados de placa na Tabela 1 antes de realizar qualquer montagem.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

Tensão Nominal de Linha	220 V
Corrente Nominal de Linha	
Frequência	
Potência (kW)	
Fator de potência	
Velocidade nominal do rotor	

TABELA 1

O circuito equivalente do motor de indução é obtido por meio do ensaio a vazio e rotor bloqueado. Visando obter a eficiência da máquina, realize os ensaios abaixo.

Faça a ligação da Figura 1. O motor de indução tem que estar ligado em delta paralelo, conforme o esquema na placa. Os Wattímetros devem ser ligados na escala de 5 A.

**Pergunta para reflexão:** Por que o motor deve estar ligado em delta paralelo?

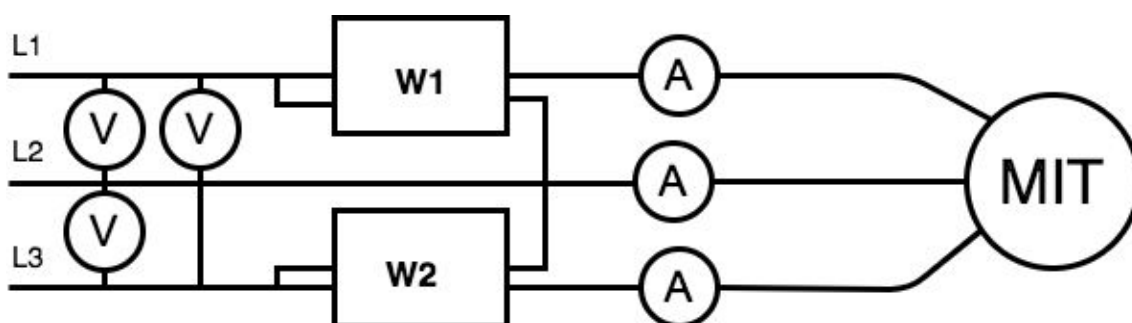


FIGURA 1

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### ENSAIO A VAZIO

- 1) Aplique tensão nominal de 220 V e preencha a Tabela 2.
- 2) Reduza a tensão e desligue a bancada.

### ROTOR BLOQUEADO

- 1) Um componente da equipe deverá ficar bloqueando com a mão o rotor da máquina.
- 2) Aplique corrente nominal de 1,6 A e preencha a Tabela 2.
- 3) Reduza a tensão e desligue a bancada.

	A VAZIO	ROTOR BLOQUEADO
TENSÃO	220 V	
CORRENTE		1,6 A
W1		
W2		

TABELA 2

### RESISTÊNCIA DO ENROLAMENTO DO ESTATOR

- 1) Verifique com o ohmímetro a resistência do enrolamento do rotor. Para isso, deve-se abrir a conexão delta. Faça o teste nas três fases para verificar se as resistências possuem o mesmo valor.

$$R_1 =$$

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### VELOCIDADE E ESCORREGAMENTO

- 1) Calcule a velocidade síncrona em RPM do motor.

$$N_s =$$

- 2) Faça a conexão de 220 V no estator da máquina.
- 3) Curte-circuite o rotor para que o motor de indução seja do tipo gaiola de esquilo (o motor do laboratório é do tipo rotor bobinado).

**Pergunta para reflexão:** Qual a diferença entre o rotor bobinado e o de gaiola de esquilo? Quais as vantagens e desvantagens de cada um deles?

- 4) Conecte a fonte 3  $\phi$  da bancada (Chave F2) no estator da máquina;
- 5) Ligue a bancada e aplique 220 V;
- 6) Verifique a velocidade do rotor com o tacômetro.

$$N_r =$$

- 7) Diminua a tensão até 0 V, observando o sentido de rotação do motor. Desligue a bancada.
- 8) Calcule o escorregamento a vazio.

$$s =$$

- 9) Uma das formas de frenagem de motor é invertendo as fases. Usando a mesma configuração do MIT, inverta duas fases, ligue o motor e verifique para que lado o motor está girando. Compare com o que você observou no passo 7.
- 10) Desligue a bancada.

### ATIVIDADE 2 : MOTOR COM DUAS FASES

- 1) Desconecte uma fase do estator do MIT. Tente partir a máquina. Anote os aspectos observados.
- 2) Parta o motor com as 3 fases. Quando o MIT estiver operando com a tensão nominal desconecte uma das fases (com o motor ligado). Verifique também a velocidade do rotor nessa situação.

$$N_r =$$

### LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

- 3) Faça a ligação da Figura 2, considerando-se que S é um disjuntor. MIT<sub>1</sub> e MIT<sub>2</sub> são dois motores de indução do tipo gaiola de esquilo. Atenção: o MIT<sub>2</sub> será ligado no estator do MIT<sub>1</sub>.
- 4) Com o disjuntor aberto, aplique 220 V no MIT<sub>1</sub>.
- 5) Com o MIT<sub>1</sub> rodando desconecte uma fase. Anote os valores das correntes das fases da armadura com sobrecarga.
- 6) Feche o disjuntor.
- 7) Anote as observações da equipe.
- 8) Reduza a tensão aplicada. Desligue a bancada

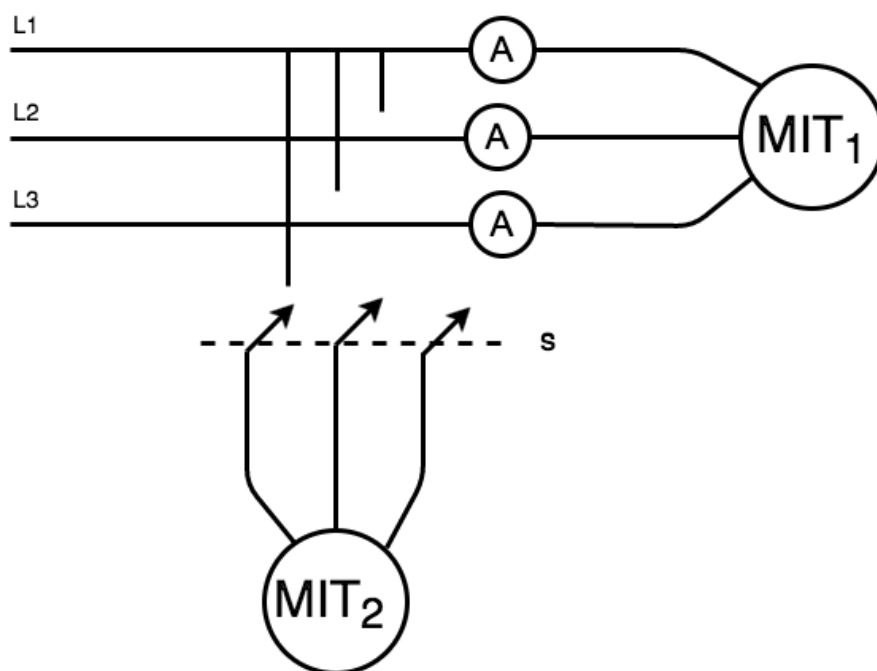


FIGURA 2

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### Relatório 1

- 1) Justifique se o método de frenagem do motor usando inversão de fases é eficaz para um motor desse porte.
- 2) Por que com o MIT funcionando, ao se retirar uma das fases da alimentação, o mesmo não parou?
- 3) Explique como é a partida de um motor monofásico sendo que ele não possui campo magnético girante.
- 4) Qual é a relevância de um relé de falta de fase?
- 5) Escreva um código para o Matlab que calcule os parâmetros do circuito equivalente por fase do MIT a partir dos dados obtidos nos ensaios a vazio e com rotor bloqueado. Apresente o esquema do circuito equivalente.
- 6) No mesmo código, calcule o conjugado nominal e o rendimento do motor. Comente os resultados.
- 7) Considere que você esteja inserido em um projeto de bombeamento de um poço artesanal. Atualmente, o motor do projeto é o que foi usado no experimento. Digamos que você encontrou um motor com valor das resistências  $R_1$  e  $R_2$  pela metade ( $R_1/2$  e  $R_2/2$ ). Todavia, esse motor é 30% mais caro. Qual será o rendimento do motor? Use o mesmo código da questão anterior. Será vantajoso do aspecto econômico a compra desse motor mais caro? Use os dados abaixo para justificar a sua resposta.

	Potência Média Watts	Dias estimados Uso/Mês	Média Utilização/Dia
BOMBA D'ÁGUA 1/4 CV	335	30	30 min
BOMBA D'ÁGUA 1/2 CV	613	30	30 min
BOMBA D'ÁGUA 3/4 CV	849	30	30 min
BOMBA D'ÁGUA 1 CV	1051	30	30 min

Dados: Eletrobras



## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### Aplicação: esteira industrial

A indústria é um dos setores com maior consumo de energia do país. Segundo o EPE (Empresa de Pesquisa Energética), o setor consome em média 13 TWh por mês. São máquinas grandes, de alta potência, que movimentam a economia e o desenvolvimento da nação. Desde a Revolução Industrial, o processo fabril tem evoluído em todos os sentidos - em organização, qualidade, produtividade, quantidade e maquinário. As esteiras industriais desde o começo da era industrial foram muito importantes nas indústrias por realizar o transporte de produtos, permitindo uma produção maior em um tempo menor.

As esteiras estão presentes em diversos lugares, tais como aeroportos, supermercados, construção e armazéns. É comum encontrar esteiras que possuem motor de indução com rotor bobinado (MIRB).

Os próximos experimentos ajudarão na compreensão do funcionamento de uma esteira industrial. Esta máquina contará com duas velocidades: uma mais lenta na hora em que a carga está sendo colocada sobre ela e uma mais rápida quando a carga já foi colocada. A máquina utilizada na aplicação precisa conter certas características como:

- Controle de velocidade simples (que não implique em muitas perdas elétricas para o motor).
- Corrente de partida suave.
- Alto conjugado de partida (para vencer a inércia do motor parado).

A primeira atividade permitirá ver a variação da velocidade quando se muda a resistência do rotor do MIT e se é uma forma eficiente de controle de velocidade. A segunda atividade mostrará como a variação de resistência muda o conjugado em certas velocidades. E finalmente, a terceira mostrará a diferença da corrente de partida para ligação delta e estrela.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### Roteiro 2

#### Equipamentos utilizados:

Motor de indução de rotor bobinado;  
 Voltímetros (CC e CA);  
 Amperímetros (CC);  
 Tacômetro;  
 Reostatos trifásicos;  
 Wattímetros.

### ATIVIDADE 1 : VARIAÇÃO DA VELOCIDADE PELA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ROTÓRICA

Para se observar a variação da velocidade com a variação da resistência do rotor, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir.

- 1) Medir a resistência original do rotor do MIRB ;
- 2) Realizar a montagem do MIRB, com o reostato trifásico conectado ao circuito do rotor (Figura 1) ;

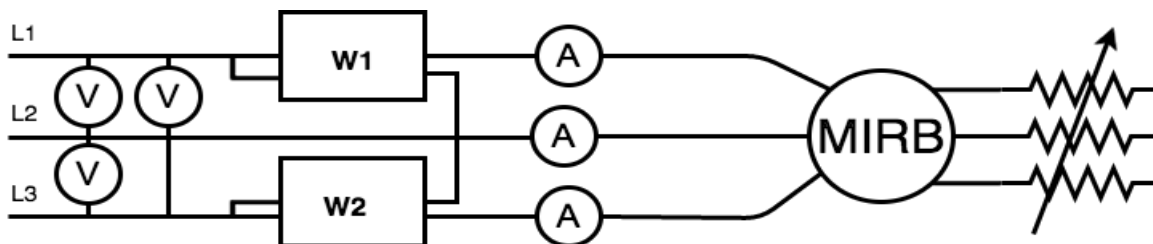


FIGURA 1

- 3) Variar  $R_r$ , medindo  $\omega_r$  e as resistências inseridas;
- 4) Anotar os valores na Tabela 1.

$R_r$ ( $\Omega$ )											
$\omega_r$ (rpm)											

TABELA 1

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### ATIVIDADE 2 : CURVAS CONJUGADO-VELOCIDADE E CORRENTE-VELOCIDADE

Para se obter as curvas conjugado-velocidade e corrente-velocidade, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir. Note que a carga do MIRB é uma máquina CC operando como gerador, com uma carga (elétrica) resistiva.

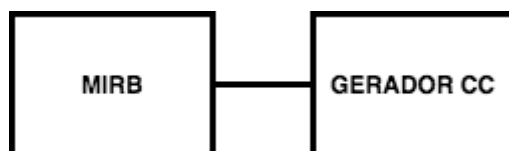


FIGURA 2

- 1) Manter a montagem feita na Figura 1, mas agora com a carga como sendo a máquina CC com a montagem descrita na Figura 3.

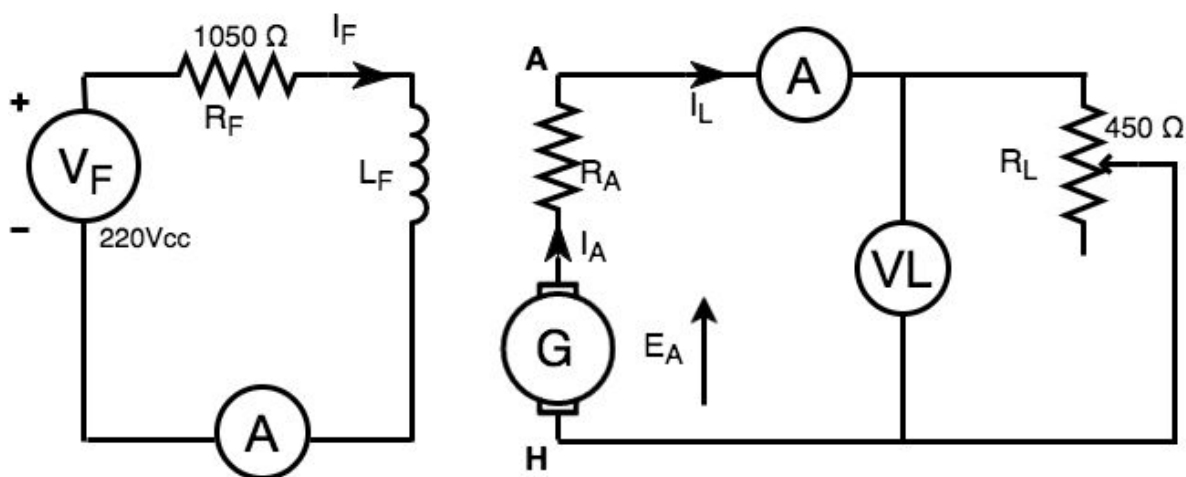


FIGURA 3

- 2) Partir o MIRB, com  $R_r = 0$  e o gerador CC sem carga, ou seja, com os circuitos de campo e de carga do gerador CC abertos;
- 3) Ajustar  $V_L$  (tensão terminal do gerador CC) para o seu valor nominal, variar  $R_L$  (carga do gerador CC) para que  $I_L$  varie de 0 (zero) até o seu valor nominal;

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

- 4) Para cada valor de corrente de carga do gerador CC, anotar os valores medidos na Tabela 2 ;
- 5) Variar  $R_r$  (reostato do rotor do MIRB) ;
- 6) Repetir este procedimento para um novo valor de resistência no rotor do MIRB.

$R_{R1} = \quad \Omega$ $R_{R2} = \quad \Omega$											
$I_L [A]$		$V_L [V]$		$W_1 [W]$		$W_2 [W]$		$I_A [A]$		$\omega_R [rpm]$	
$R_{R1}$	$R_{R2}$	$R_{R1}$	$R_{R2}$	$R_{R1}$	$R_{R2}$	$R_{R1}$	$R_{R2}$	$R_{R1}$	$R_{R2}$	$R_{R1}$	$R_{R2}$

TABELA 2

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

**ATENÇÃO: PARA O ROTEIRO 3, É IMPORTANTE QUE VOCÊ LEVE O CÓDIGO DO CIRCUITO EQUIVALENTE DO MIT ENCONTRADO NO ROTEIRO 1.**

### Roteiro 3

#### ATIVIDADE 3 : ANÁLISE DA CORRENTE DE PARTIDA

Certos motores conseguem partir simplesmente com ligação direta à linha de potência. Mas nem sempre funciona assim. Muitas vezes, apesar do MIT aguentar a sobrecarga de corrente na partida (que pode chegar até 5 a 7 vezes a corrente nominal), ocorre uma queda na alimentação, que reflete em todas as cargas ligadas no mesmo barramento. Essa queda de tensão temporária precisa ser regulamentada para não causar danos no sistema de forma geral.

Há diversas formas de reduzir a corrente de partida. Uma delas é alterando a resistência do rotor. Todavia, essa técnica só pode ser usada em MIRB. Uma outra solução pode ser variando a tensão, como propõe esta atividade.

Neste experimento, será feito uma comparação entre as ligações estrela e delta. Sendo assim, faça a ligação como a mostrada na Figura 1.

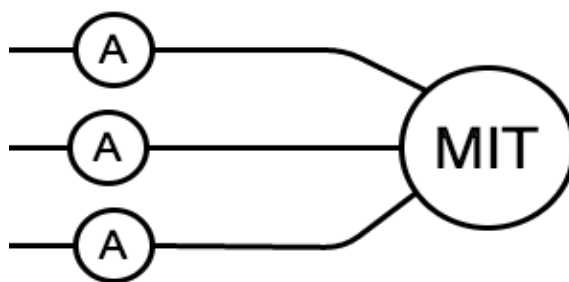


FIGURA 1

Os amperímetros devem registrar o valor máximo de corrente (que será a corrente de partida). Para isso, pressione o HOLD MAX nos três medidores.

Parta o motor na configuração delta paralelo e anote os valores de tensão e corrente de fase do MIT.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

$I_{\text{fase } \Delta} =$
$V_{\text{fase } \Delta} =$

**TABELA 3**

Desligue a bancada. Coloque o motor na configuração estrela paralelo. O motor deve ser partido com tensão de 220 V, como na montagem passada. Meça também a corrente de partida e tensão de fase e anote na Tabela 5.

$I_{\text{faseY}} =$
$V_{\text{faseY}} =$

**TABELA 4**

Adapte seu código utilizado no roteiro 3 para simular o valor da corrente de partida. Compare os resultados encontrados e os teóricos.

## Relatório 2 e 3

- 1) Trace a curva de velocidade em função da resistência do enrolamento do MIRB. O resultado foi conforme previsto na teoria? Trata-se de uma forma eficiente de controle de velocidade do motor de indução?
- 2) Para qual aplicação é útil adicionar resistência (sem ser controle de velocidade)?
- 3) Supondo que o rendimento do MIRB seja 20% maior que o do gerador CC, plote as curvas de conjugado em função da velocidade e da corrente em função da velocidade para os dois valores da resistência do enrolamento do rotor do MIRB. Justifique o comportamento das curvas pelo valor teórico e os valores de escorregamento.

### **LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA**

- 4) Alterando-se a resistência rotórica é possível reduzir a corrente de partida. Outra opção bastante utilizada, é partida delta-estrela. Explique como esse mecanismo consegue diminuir a corrente de partida.
- 5) Explique com suas palavras como é o comportamento do motor na partida. Por que esse fato deve ser considerado em um projeto?
- 6) Com o avanço da eletrônica e dos sistemas de controle, variar a frequência se tornou uma solução prática que permite o MIT atuar como um motor CC em termos de variação de velocidade. Elabore um relatório técnico conclusivo, onde você apresenta para seu cliente (proprietário de esteiras industriais dentro de sua fábrica) o porquê de realizar a variação de velocidade do motor através da variação de frequência do estator ao invés de variação da resistência rotórica (que é o caso atual das máquinas do cliente).

## **Aplicação: sistemas desconectados da rede elétrica de distribuição**

Nos últimos anos, têm-se aumentado o interesse em aplicações *off-grid* (sistemas desconectados da rede elétrica), em países desenvolvidos e muito mais nos em desenvolvimento. Essa abordagem descentralizada de pequena geração é relevante no cenário mundial, no qual aproximadamente 1,16 bilhões de pessoas não têm acesso à energia elétrica, sendo a maioria habitantes da Ásia (615 milhões de pessoas). O Brasil também está dentro dessas estatísticas, com um milhão de residências sem eletricidade. No caso de vários países subdesenvolvidos e de muitas comunidades isoladas, o acesso à energia por meio de aplicações alternativas à rede pode ser o caso economicamente mais viável.

A maioria dos sistemas de geração distribuída utilizam óleo diesel, uma solução que não é ambientalmente favorável. Isso fomenta cada vez mais o estudo e, conseqüentemente, o uso de energias renováveis como eólica e solar. Além disso, essas pequenas redes isoladas são úteis para alimentar áreas industriais remotas, instalações de telecomunicações e aplicações públicas (como iluminação pública, parque nacional, escolas, etc). Os principais mercados são ilhas, lugares remotos, indústrias (para aumentar as suas fontes de energia mais baratas), prédios públicos e bases militares. Nota-se que o incentivo à eletrificação de comunidades isoladas favorece à descentralização de grandes centros urbanos, onde já existe um aglomerado de consumidores.

As aplicações desconectadas da rede não necessariamente precisam ser inteiramente autônomas e sustentáveis. Podem ser fontes de energia renovável em residências e indústrias ligadas à rede elétrica. Em 2015, o Ministério de Minas e Energia brasileiro lançou um programa de incentivo à geração distribuída que, a longo prazo, traz benefícios para os consumidores e para o setor elétrico como um todo.

Existem minirredes tanto em CC como em CA. Para áreas maiores que necessitam de uma distribuição mais complexa, o gerador de corrente alternada (alternador) é o mais recomendado. Para áreas menores, um gerador CC (conhecida suas especificações) possui uma implementação mais simples.

O que se espera de qualquer sistema é que ele seja confiável e que tenha robustez. O gerador ideal manteria constante a tensão desde a vazio até plena carga.



## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

Mas infelizmente, não é assim que acontece. A carga varia durante o dia, pela quantidade de lâmpadas acesas, televisão ligada, chuveiro, etc. Se há uma variação de carga considerável e isso não afeta em uma grande variação de tensão, dizemos que o sistema possui boa regulação de tensão.

O experimento a seguir permitirá ver como é importante a regulação de tensão para cada qualquer rede. A primeira atividade mostrará a curva de magnetização, que fornece o valor terminal de tensão para um certo valor de corrente de campo. A segunda atividade tem o propósito de calcular especificamente a porcentagem da regulação de tensão e ver qual configuração apresenta melhor resultado.

### Roteiro 4

#### Equipamentos utilizados:

Fontes e medidores da bancada;  
Máquina CC atuando como gerador;  
Máquina Síncrona atuando como motor;  
Tacômetro;  
Reostatos.

### ATIVIDADE 1 : CURVA DE MAGNETIZAÇÃO

Neste ensaio, o foco é o estudo da máquina CC como gerador. A entrada do gerador é energia mecânica e a saída é energia elétrica. A função da máquina síncrona é acionar mecanicamente o eixo do gerador. Pelas características intrínsecas ao funcionamento do motor síncrono, o gerador CC será acionado com uma velocidade constante.



FIGURA 1

Para obter a curva de magnetização do gerador, adote os procedimentos a seguir:

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### MOTOR SÍNCRONO

Primeiramente, monte a parte do motor síncrono na figura abaixo.

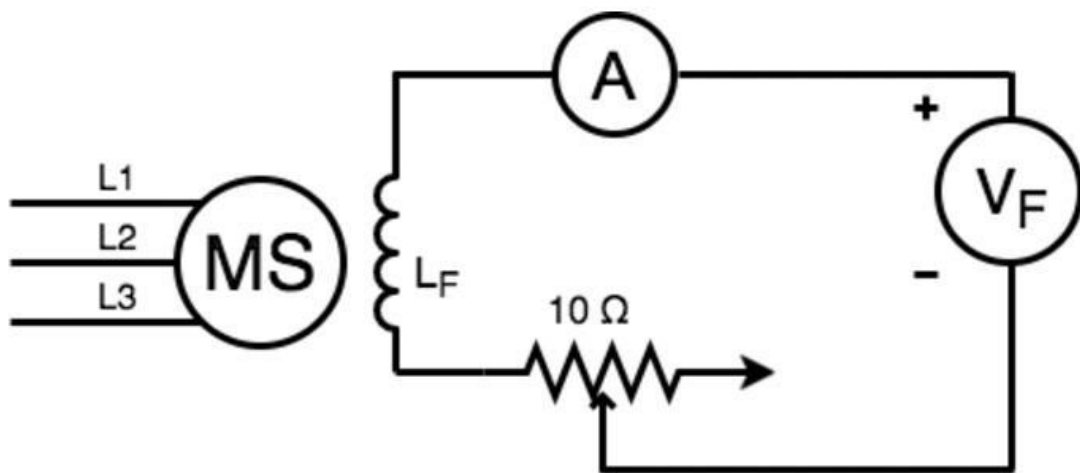


FIGURA 2 - MOTOR SÍNCRONO

- Identificar os terminais da máquina síncrona e as suas diferentes conexões, observando atentamente a sua placa;
- Fazer a ligação trifásica para 220 VCA, em  $\Delta$  paralelo (terminais L1, L2 e L3 da fonte);
- Conectar o enrolamento de campo do motor síncrono em série com o reostato de campo ( $10\ \Omega$ ) e com a fonte de 12 VCC, conforme mostrado na figura.

OBS: Ajuste o reostato de  $10\ \Omega$  para o seu valor máximo. Se for necessário, vá reduzindo o valor do reostato (aumentando assim a corrente de campo) até que a máquina entre em sincronismo.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### GERADOR CC COM EXCITAÇÃO INDEPENDENTE

Monte o circuito abaixo.

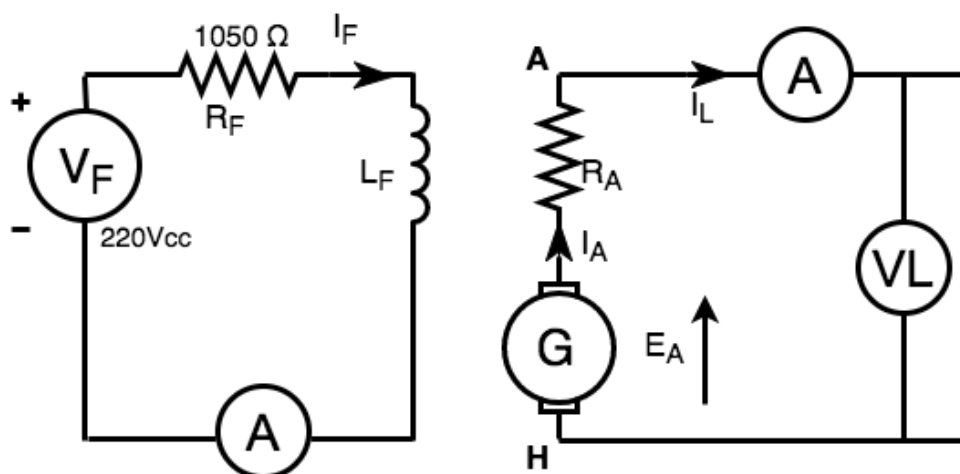


FIGURA 3: GERADOR CC COM EXCITAÇÃO INDEPENDENTE

- Identificar os terminais dos enrolamentos da máquina CC : enrolamento de armadura, enrolamento de interpólo, enrolamento de campo shunt (ou derivação) e enrolamento série ;
- Conectar o enrolamento de campo da máquina CC para que ela opere com excitação independente, conforme mostrado na figura.

### PARTIDA E PARADA DO GRUPO MOTOR-GERADOR

Siga os passos abaixo **com rigor** para evitar riscos e esforços exagerados para os equipamentos.

- 1) Abra o circuito de campo do gerador CC.
- 2) Abra o circuito de campo do motor síncrono.
- 3) Aplique 220 VCA no motor síncrono.
- 4) Feche o circuito de campo do motor síncrono, com o reostato ajustado para o máximo de sua resistência, o que equivale a sua excitação mínima.

### LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

- 5) Se for necessário, aumente a corrente de campo do motor síncrono (diminuir o reostato de  $10\ \Omega$ ) até um valor tal que a máquina entre em sincronismo.
- 6) Verifique a velocidade com o tacômetro: \_\_\_\_\_ rpm.
- 7) Verifique a tensão residual: \_\_\_\_\_ V. Acrescente esse dado na Tabela 1.
- 8) Feche o circuito de campo do gerador CC e aplique 220 VCC com o reostato de campo ajustado no seu valor máximo, isto é, mínima excitação.
- 9) Verifique a corrente de campo,  $I_f$ , e a tensão nos terminais do gerador CC, VL. Anote esses valores na Tabela 1 (Ascendente).
- 10) Varie o valor do reostato de campo ( $1050\ \Omega$ ) de forma a diminuir a sua resistência, permitindo assim um maior valor de corrente de campo. Registre aproximadamente 10 valores diferentes e anote na Tabela 1 (Ascendente). A corrente de campo nominal é de 300 mA. Lembre-se de mudar o reostato cuidadosamente, porque não pode voltar para o valor anterior (o caminho ascendente é diferente do descendente, como será mostrado).
- 11) Depois de obter todos os valores de interesse da tabela Ascendente, inicie o processo inverso, aumente a resistência do reostato de campo até que chegue ao seu valor máximo. Anote esses valores na parte Descendente.
- 12) Reduza a tensão de campo aplicada no gerador CC.
- 13) Abra o circuito de campo, de modo a se ter uma corrente de campo nula, e verifique a nova tensão residual: \_\_\_\_\_ V.
- 14) Ajuste o reostato de  $10\ \Omega$  para o seu máximo valor de modo a se ter uma corrente mínima de excitação.
- 15) Desconecte o circuito de campo.
- 16) Reduza a tensão de armadura aplicada.
- 17) Desligue a bancada.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

TABELA 1 - MEDIÇÕES DA CURVA DE MAGNETIZAÇÃO

CURVA DE MAGNETIZAÇÃO ASCENDENTE											
$I_f$ [mA]	0										
$V_L$ [V]											
CURVA DE MAGNETIZAÇÃO DESCENDENTE											
$I_f$ [mA]											0
$V_L$ [V]											

## ATIVIDADE 2 : REGULAÇÃO DE TENSÃO

Nessa parte do experimento, será analisado o comportamento do gerador CC com excitação independente e do auto excitado. O objetivo é a curva de tensão terminal em função da corrente de carga. Por isso, será necessário um reostato de  $450 \Omega$ .

### GERADOR CC COM EXCITAÇÃO INDEPENDENTE

Para obter a característica tensão terminal em função da corrente de carga do gerador CC com excitação independente, deve-se adotar o procedimento realizado anteriormente para máquina síncrona. Já na montagem do gerador, será acrescentado um reostato como mostrado na figura a seguir. Note que, durante todo o ensaio, a rotação e a corrente de excitação ( $I_f$ ) devem permanecer constantes.  $R_L$  deve começar com o valor máximo.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

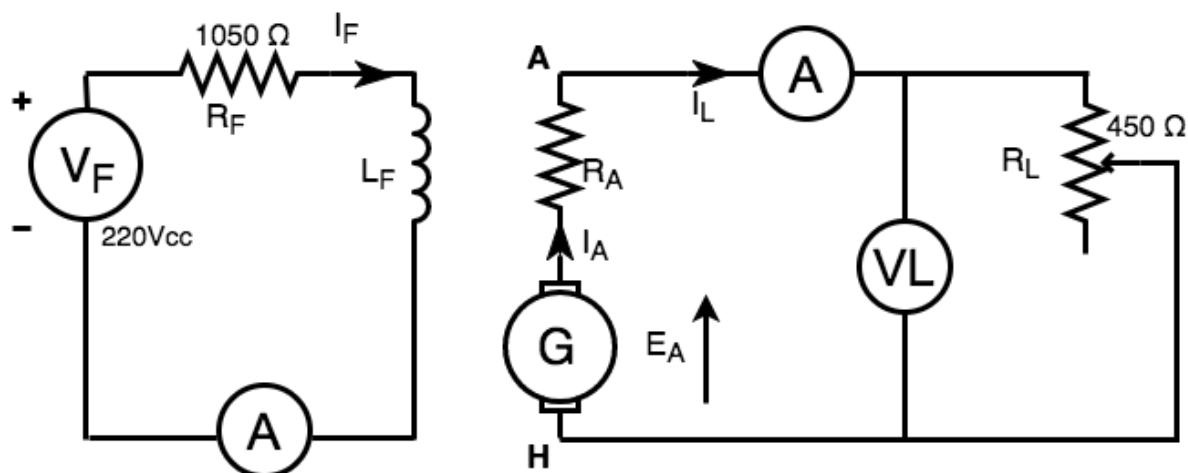


FIGURA 4: GERADOR CC COM EXCITAÇÃO INDEPENDENTE COM UM REOSTATO

### PARTIDA E PARADA DO GRUPO MOTOR-GERADOR

A sequência a seguir deverá ser seguida **com rigor** tanto para partir como para parar o grupo motor-gerador, a fim de se evitar riscos e esforços exagerados para os equipamentos.

- 1) Abrir o circuito de campo do gerador CC.
- 2) Abrir o circuito de campo do motor síncrono.
- 3) Aplique 220 VCA no motor síncrono.
- 4) Feche o circuito de campo do motor síncrono, com o reostato ajustado para o máximo de sua resistência, o que equivale a sua excitação mínima.
- 5) Aumente a corrente de campo do motor síncrono até o seu máximo valor (diminuir o reostato de  $10\ \Omega$  até o seu mínimo valor).
- 6) Verifique a velocidade com o tacômetro: \_\_\_\_\_ rpm.
- 7) Desconecte a carga RL (a qual deve iniciar no seu valor máximo).
- 8) Feche o circuito de campo do gerador CC e aplique 220 VCC com o reostato de campo ajusto no seu valor máximo, isto é, mínima excitação.
- 9) Ajuste o reostato  $R_f$  ( $1050\ \Omega$ ) até obter 220V na saída do gerador (tensão nominal). Verifique a corrente de campo: \_\_\_\_\_ A
- 10) Para situação de  $I_L$  zero (carga desconectada) preencha a Tabela 2.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

- 11) Conecte a carga RL faça as leituras dos aparelhos e preencha a Tabela 2.
- 12) Vá diminuindo RL até chegar a aproximadamente na corrente nominal fornecida pelo gerador CC. Veja nos dados de placa e sempre monitore no multímetro.
- 13) Reduza  $I_L$ , desconecte a carga RL. Reduza a corrente de campo do gerador CC, reduza a tensão aplicada nos enrolamentos de campo, desconecte o enrolamento de campo.
- 14) Ajuste o reostato de  $10\ \Omega$  para o seu máximo valor de modo a se ter uma corrente mínima de excitação.
- 15) Desconecte o circuito de campo.
- 16) Reduza a tensão de armadura aplicada.
- 17) Desligue a bancada.

**TABELA 2 - GERADOR CC COM EXCITAÇÃO INDEPENDENTE**

$I_L$ [A]	<b>0</b>										
$V_L$ [V]											

## GERADOR CC AUTO-EXCITADO

Para excitar os enrolamentos de campo do gerador CC utilizando a própria tensão gerada da máquina, você deve conectar os pontos X e Y da figura 3 nos pontos A e H da mesma figura. O processo de partida da máquina é idêntico ao caso anterior, porém há uma observação. Quando o enrolamento de campo da máquina CC for conectado (oitavo passo), verifique se a tensão residual gerada aumenta ou diminui. Se aumentar, OK, prossiga o experimento. Se reduzir inverta os cabos que ligam o enrolamento de campo, ao fazer isso a tensão deverá aumentar. O procedimento para desligar é idêntico ao caso anterior. Preencha a Tabela 3 com os dados medidos.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

**TABELA 3 - GERADOR CC SHUNT**

$I_F$ [A]											
$I_L$ [A]	<b>0</b>										
$V_L$ [V]											

### REGULAÇÃO DE TENSÃO

Calcule a regulação de tensão para os dois casos acima e preencha a Tabela 4.

**TABELA 4 - REGULAÇÃO DE TENSÃO**

	Excitação independente	Auto excitado
RV		

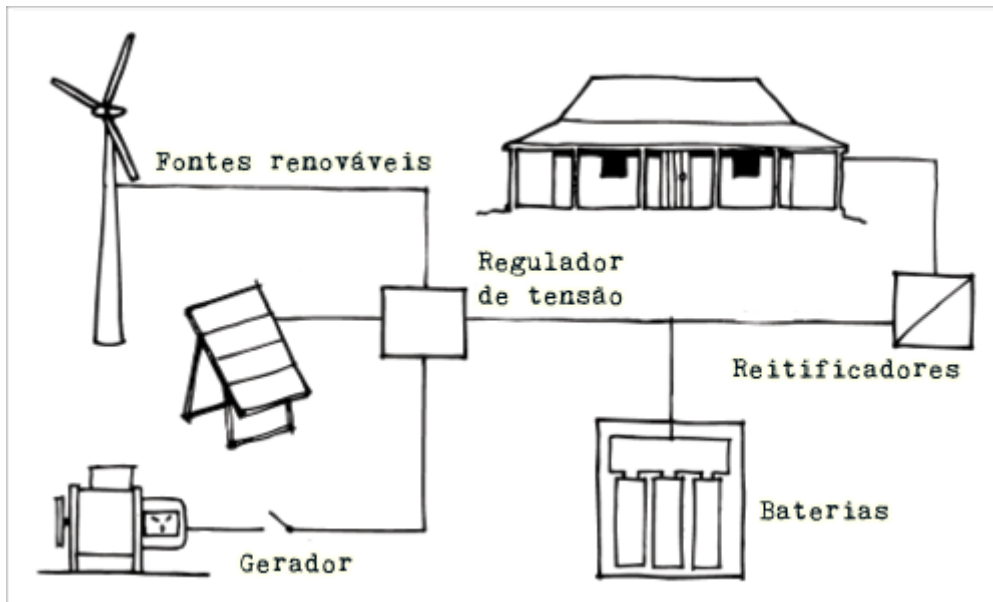
## Relatório 4

- 1) Trace as curvas de magnetização ascendente e descendente da máquina CC, observando o magnetismo residual, a saturação e a histerese magnética. Explique como se dá esse fenômeno.
- 2) Plote as curvas de tensão-carga tanto para o gerador CC com excitação independente como para o shunt. Calcule a regulação de tensão para ambos os casos. Apresente as vantagens e desvantagens de cada um e proponha qual você usaria para uma aplicação em uma comunidade isolada e o porquê.
- 3) Qual o impacto de um gerador com uma grande queda na tensão terminal para a carga?
- 4) Para uma pequena comunidade isolada, um gerador CC possui um baixo custo



## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

e pode ser uma solução viável. Segue uma figura abaixo como exemplo:



Qual a importância do regulador para as baterias?

- 5) Considerando 100% e 50% da carga, quais os parâmetros que você deve ajustar (e para qual valor) para obter a tensão nominal na carga (tanto para a excitação independente e auto excitado).
- 6) Comente brevemente sobre os aspectos de projeto que, na sua opinião, devem ser levados em consideração para uma proposta de eletrificação de uma zona rural. Você pode se inspirar no modelo da questão 4 ou criar o seu próprio (Carga, gerador, distribuição, armazenamento, custos, entre outros).
- 7) Em um país com dimensões continentais como o Brasil, os desafios da transmissão também são imensos. Cite como as fontes de energia renováveis podem ser uma solução para sistemas independentes. Há políticas públicas ou iniciativas privadas com projetos de eletrificação em comunidades isoladas?

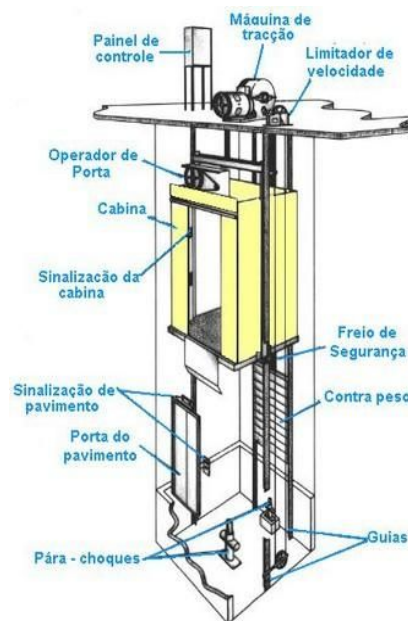
## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### Aplicação: elevadores

Os motores de corrente contínua estão presentes na nossa vida desde muito cedo, afinal a maioria dos brinquedos movidos a pilha possui um pequeno motor CC. Mesmo com o sistema elétrico em grande parte de corrente alternada, as máquinas CC ainda possuem tradicionalmente seu espaço no mercado, dependendo da aplicação. Conseguem fornecer alto conjugado de partida e possuem um controle de velocidade em uma ampla faixa (abaixo ou acima da velocidade nominal). Um setor que utiliza muito esse tipo de máquina é o de transportes. Elas estão presentes em metrô, trens, carros (motor de arranque), tratores, drones, empilhadeiras, esteiras. O problema proposto neste roteiro será relacionado a um equipamento de transporte vertical muito comum, o elevador.

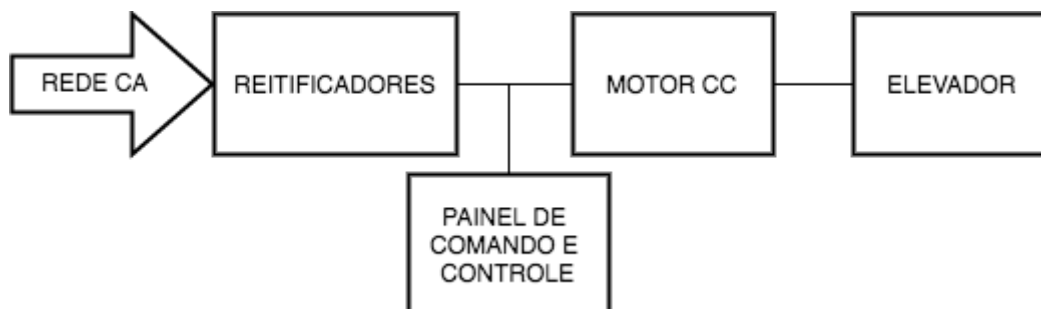
O primeiro elevador elétrico foi construído em 1880 por Werner von Siemens na Alemanha. O princípio de funcionamento consiste em um motor ligado a uma polia que movimenta os cabos de tração, elevando e abaixando a cabine. O contrapeso, composto de chapas metálicas, auxilia no balanceamento do peso da cabine, diminuindo o conjugado de partida. A rota, a velocidade e precisão das paradas é controlado pelo painel de controle, que calcula e aciona corretamente o motor CC. Há um limitador de velocidade caso a cabine ultrapasse a velocidade preestabelecida.

Considere para o exercício um elevador semelhante ao da imagem abaixo:



## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

Uma simplificação do esquema dos motores de tração do elevador é mostrada abaixo:



O elevador precisa de um conjugado elevado para a subida e de outro, de controle de velocidade, eficaz para o trajeto.

O projeto deve garantir que uma faixa de velocidade tal que seja mais rápido entre os andares e mais lento para parar e partir. Além disso, a velocidade do elevador com uma pessoa deve ser a mesma para capacidade máxima. No próximo experimento, ficará claro quais os parâmetros da máquina cc podem influenciar no controle de velocidade.

## Roteiro 5

### Equipamentos utilizados:

Fontes e medidores;  
Máquinas CC;  
Tacômetro;  
Reostatos.

### ATIVIDADE 1 : ANÁLISE COM VARIAÇÃO DE CARGA

Neste ensaio, a variação da carga será feita de modo indireto, ou seja, por meio de uma resistência conectada à armadura do gerador. A variação de carga significa a quantidade de pessoas dentro da cabine do elevador.

A excitação do enrolamento de campo do gerador CC será do tipo shunt (auto excitado).

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

Para se obter a característica velocidade x carga do motor CC com excitação independente, deve-se adotar os procedimentos a seguir:

- 1) Construa os circuitos mostrados nas figuras abaixo, anotando os dados de placa do gerador e do motor.



FIGURA 1 - ESQUEMÁTICO

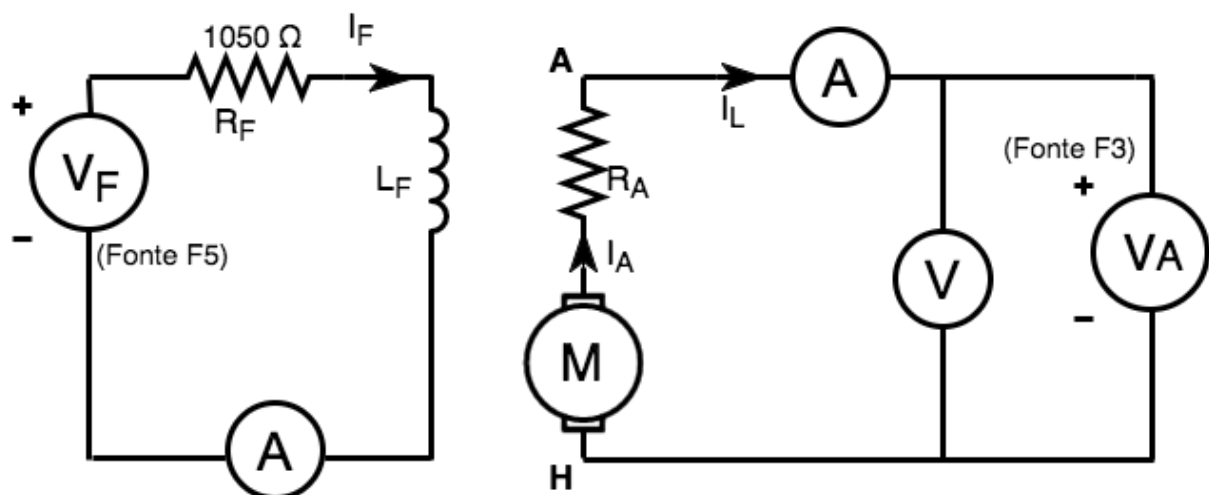
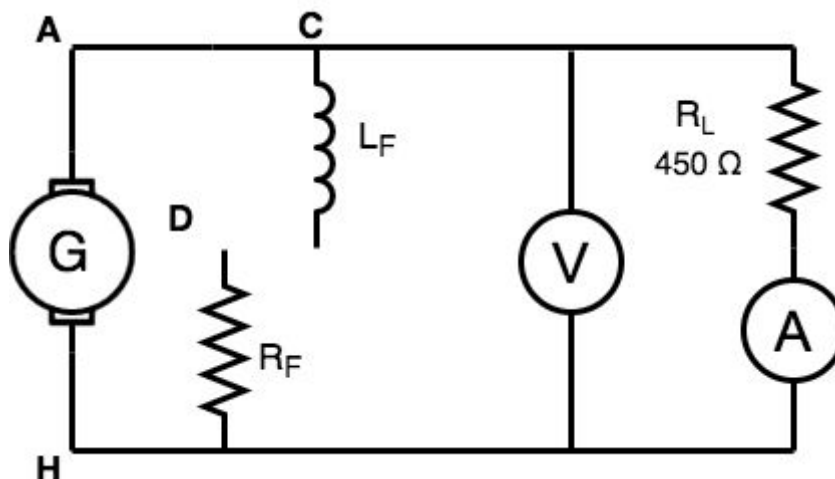


FIGURA 2 - MOTOR CC - EXCITAÇÃO INDEPENDENTE



## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

FIGURA 3 - GERADOR CC - SHUNT AUTO EXCITADO

- 2) Desconecte a carga.
- 3) Desconecte o enrolamento de campo do gerador CC.
- 4) Ajuste o reostato de campo do motor CC para seu valor mínimo de resistência.
- 5) Ligar o circuito de campo do motor CC, ajustando a corrente de campo para seu valor máximo (em torno de 260 a 300 mA).
- 6) Partir o motor CC, com os circuitos de campo do gerador CC desligados e com a carga desconectada.
- 7) Aumente gradativamente a tensão de armadura  $V_A$  até atingir o seu valor nominal de 220 V (Chave F3).
- 8) Verifique a velocidade do motor CC. Ajuste a velocidade para 1800 rpm por meio da variação da sua corrente de excitação.
- 9) Conecte o enrolamento de campo do gerador CC. Verifique se a tensão residual aumenta ou diminui. Se caso diminuir, inverta a conexão.
- 10) Ainda sem carga, ajuste o reostato de campo do gerador CC até verificar no voltímetro a tensão nominal de 220 V.
- 11) Ajuste, se caso necessário, o reostato de campo do motor CC para ter 1800 rpm.
- 12) Após verificar os valores nominais nas duas máquinas (gerador CC com 220V e motor CC com 1800 rpm), pode iniciar as medições. Varie a carga de  $450\ \Omega$  e verifique no amperímetro a corrente de armadura  $I_A$  que deve variar até o seu valor mínimo de 2,2 A (como visto nos dados de placa do motor CC).

OBS: Atente-se ao valor nominal da corrente  $I_L = 1,6$  A. Verifique ambas as medições para o gerador não ficar sobrecarregado.

TABELA 1 - MEDIÇÕES REALIZADAS NO MOTOR E GERADOR CC

MOTOR CC		GERADOR CC (dados medidos na carga)	
$I_A$ [A]	n [RPM]	$V_L$ [V]	$I_L$ [A]
	1800	220	0

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA


Tensão de campo do motor CC = \_\_\_\_\_

Corrente de campo do motor CC = \_\_\_\_\_

- 13) Volte o reostato de carga para o máximo;
- 14) Desconecte a carga;
- 15) Volte o reostato de campo do gerador CC para o máximo;
- 16) Desconecte o campo do gerador CC;
- 17) Reduza a tensão da chave F3;
- 18) Reduza a tensão da chave F5;
- 19) Desligue a bancada.

### **ATIVIDADE 2 : CARACTERÍSTICAS DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DA TENSÃO DE ARMADURA E EM FUNÇÃO DA CORRENTE DE CAMPO NA CONFIGURAÇÃO DE EXCITAÇÃO INDEPENDENTE**

O propósito do experimento é a máquina de corrente contínua operando como motor, transformando a potência elétrica em sua entrada (tensão e corrente) em potência mecânica fornecida no eixo (torque e velocidade).

- 1) Construa o circuito da Figura 2.
- 2) Ajuste o reostato de campo  $R_f$  para o seu MÍNIMO valor.

OBS: Quando o motor estiver em funcionamento, ele não deverá ter sua excitação de campo anulada. Isso resultará em uma grande velocidade que pode queimar o motor.

- 3) Aplique a tensão contínua de 220V no enrolamento de campo do motor CC por meio da chave F5 (o motor não vai girar!)
- 4) Verifique no amperímetro o valor da corrente de campo. Esta deve ser algo em torno

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

de 260 a 300 mA.

- 5) Comece a aplicar tensão contínua no circuito de armadura do motor CC, por meio da chave F3. Varie a tensão aplicada conforme valores especificados na Tabela 2.

Por exemplo: Ao aplicar 100 VCC preencha os campos da Tabela 1, para cada valor especificado de corrente de campo. Os diferentes valores de corrente de campo  $I_f$  serão obtidos alterando o valor da resistência de campo  $R_f$ .

TABELA 2 - MOTOR CC - EXCITAÇÃO INDEPENDENTE

$V_A$ [V]	$I_f = 300$ mA (reostato no mínimo)		$I_f = 200$ mA		$I_f = 150$ mA	
	n [rpm]	$I_A$ [A]	n [rpm]	$I_A$ [A]	n [rpm]	$I_A$ [A]
100						
120						
140						
160						
180						
200						
220						

- 6) Reduza o reostato  $R_f$  (para aumentar a corrente de campo);
- 7) Retire a tensão aplicada na armadura;
- 8) Retire a tensão aplicada no campo;
- 9) Desligue a bancada.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### Relatório 5

- 1) Explique qual ajuste de  $V_A$  e  $I_F$  você adotaria para o elevador acelerar e para o elevador reduzir. Plote as curvas de velocidade em função da corrente de armadura e da corrente de carga.
- 2) Plote as curvas características da velocidade em função da tensão de armadura e da velocidade em função da corrente de campo para o motor com excitação independente.
- 3) No caso do elevador, com a tensão terminal constante, cada vez que aumentasse o número de pessoas dentro da cabine, o elevador faria uma trajetória mais lenta. Considerando que a carga máxima do elevador é de 10 pessoas, quais parâmetros de controle de velocidade você usaria para a máquina operando a plena carga? E quais parâmetros para 2 pessoas dentro da cabine?
- 4) Se ao invés de excitação independente, a máquina estivesse ligada em derivação, qual seria a diferença?
- 5) Baseado nos dados coletados, calcule a regulação de velocidade.
- 6) Os motores CC ainda são usados em elevadores? Quais os avanços tecnológicos dessa aplicação nos últimos anos?

Questão extra: esboce uma malha fechada do controle de velocidade em função da corrente de armadura.



## **LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA**

### **Aplicação: academia sustentável**

A sociedade urbana da atualidade se encontra em um inusitado cenário: as pessoas estão cada vez mais dependentes de carros e mais sedentárias. Os espaços públicos estão cada vez mais tomados por automóveis, o que acarreta em outro problema: o trânsito. A Pesquisa de Mobilidade Urbana de São Paulo aponta que, por ano, o paulistano passa em média um mês e meio parado no engarrafamento. Em reação a esse embaraço do trânsito, o número de pessoas que procuram a bicicleta como meio de transporte mais democrático e saudável tem crescido.

Uma das iniciativas que apoia essa ideia é o Cine Pedal, um projeto itinerante que proporciona a projeção de um filme a partir da energia gerada pelo próprio público por meio de bicicletas. É gratuito e já aconteceu em cinco capitais brasileiras (Brasília, Goiânia, Recife, João Pessoa e Salvador), incentivando o uso da bicicleta como recreação e meio de transporte de uma forma saudável e divertida.

A construção do projeto consiste em conectar bicicletas ergométricas em um alternador, depois passar essa energia gerada para algum dispositivo de armazenamento (bateria ou um supercapacitor) e depois para os equipamentos elétricos. A ideia de utilizar a energia mecânica dos pedais pode ser aperfeiçoada e implementada em uma academia (que teria uma redução dos seus gastos com contas de luz) ou em uma comunidade isolada sem energia elétrica. O alternador é um dispositivo que todos os carros possuem. Ele é um gerador síncrono que converte potência mecânica em potência elétrica CA. O nome síncrono deve-se ao fato de essa máquina não possuir escorregamento (como as de indução), ou seja, há um sincronismo entre campo do estator e rotor.

Nos experimentos a seguir, serão feitos os ensaios para obtenção da impedância síncrona saturada e a relação de curto circuito (um parâmetro que é encontrado ocasionalmente na indústria para caracterizar o gerador). Depois, será visto experimentalmente as condições necessárias para se efetuar o paralelismo dos geradores com a rede. Como se deve garantir que ocorrerá sincronismo se a entrada do sistema é variável (pedaladas dos ciclistas) ?

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### Roteiro 6

#### Equipamentos utilizados:

Bancada (fontes, medidores)  
Máquina síncrona, como motor  
Máquina síncrona, como gerador  
Amperímetros  
Tacômetro  
Reostato de  $10\ \Omega$   
Chave tripolar

### ATIVIDADE 1 : ENSAIOS DO GERADOR SÍNCRONO

Uma máquina síncrona opera como motor e a outra como gerador. Efetue a montagem necessária para acionar o motor, colocando-o a velocidade nominal. O motor síncrono será alimentado pela tensão da rede e fornecerá potência mecânica no seu eixo.

#### **MOTOR SÍNCRONO**

Para fazer a conexão do motor síncrono, deve-se seguir o procedimento descrito abaixo.

- 1) Identificar os terminais da máquina síncrona e as suas diferentes conexões, observando atentamente a sua placa;
- 2) Fazer a ligação trifásica para 220 V, em  $\Delta$  (terminais L1, L2 e L3 da fonte) ;
- 3) Conectar o enrolamento de campo do motor síncrono em série com o reostato de campo ( $10\ \Omega$ ) e com a fonte de 12 VCC, conforme mostrado na Figura 1, com o reostato ajustado para o valor máximo de sua resistência.
- 4) Para partir: Aplique 220 V com o enrolamento de campo desconectado.
- 5) Ligue o campo.
- 6) Ajuste o reostato de campo (se for necessário) até o motor atingir 1800 rpm.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

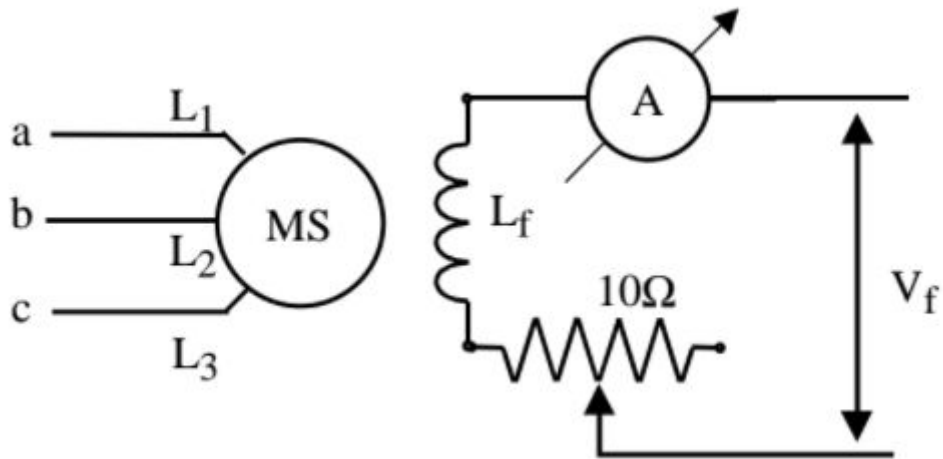


FIGURA 1: MÁQUINA SÍNCRONA OPERANDO COMO MOTOR

## ENSAIO A VAZIO NO GERADOR SÍNCRONO

Após ter realizado as ligações do motor síncrono, faça as ligações do gerador síncrono. Monte o circuito apresentado na Figura 2.

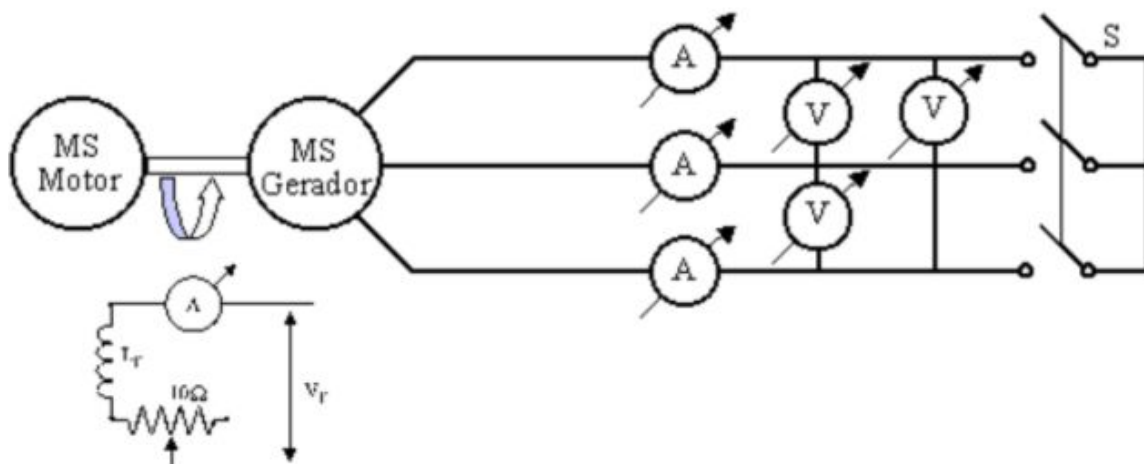


FIGURA 2 : GERADOR SÍNCRONO - CIRCUITO ABERTO

- 1) Variar  do gerador de 0 (zero) até o seu valor máximo;
- 2) Anotar os valores dos medidores na Tabela 1 e faça a média.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

<input type="text"/> (varia de zero até o valor máximo)	<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> média

TABELA 1 : CARACTERÍSTICA A VAZIO

### ENSAIO DE CURTO-CIRCUITO NO GERADOR SÍNCRONO

Para obter esta característica, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir:

- 1) Ainda no circuito da Figura 2, fazer  $I_f = 0$  do gerador;
- 2) Fechar a chave S, anotando a velocidade do motor;
- 3) Aumentar  do gerador de 0 (zero) até que a média das correntes no estator seja ligeiramente superior à corrente nominal;
- 4) Anotar os valores na Tabela 2;
- 5) Com a máquina ainda quente, medir a resistência por fase do estator.
- 6) Calcule a relação de curto-circuito e a impedância síncrona saturada para a corrente nominal e para metade desse valor.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

$\omega_R =$	[rpm]		$R_A =$	[ $\Omega$ ]	
<input type="text"/> [A]	$I_1$ [V]	$I_2$ [V]	$I_3$ [V]	$I_{\text{média}}$ [V]	

TABELA 2 : CARACTERÍSTICA EM CURTO-CIRCUITO

$X_{S1} =$
$X_{S2} =$

TABELA 3 : IMPEDÂNCIAS SÍNCRONAS SATURADAS

## ATIVIDADE 2 : VALIDAÇÃO DO CIRCUITO EQUIVALENTE

Utilizando a mesma montagem da Atividade 1 sem o curto circuito do último ensaio, conecte uma carga resistiva aos terminais. Feche a carga em  $\Delta$ . Varie o RL e faça as medições da Tabela 4.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

$R_L$	$I_{\text{média}}$	$V_{\text{médio}}$
100 W		
200 W		
300 W		
500 W		

TABELA 4 : VALIDAÇÃO DO CIRCUITO EQUIVALENTE COM VARIAÇÃO DA CARGA

### Roteiro 7

#### ATIVIDADE 3 : PARALELISMO COM A REDE ELÉTRICA

Para sincronizar o alternador à rede elétrica, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir:

- 1) Deve-se montar um motor CC excitação independente acoplado com o gerador síncrono;
- 2) Nos terminais do gerador, realize a conexão mostrada na Figura 3 mantendo a chave S aberta;

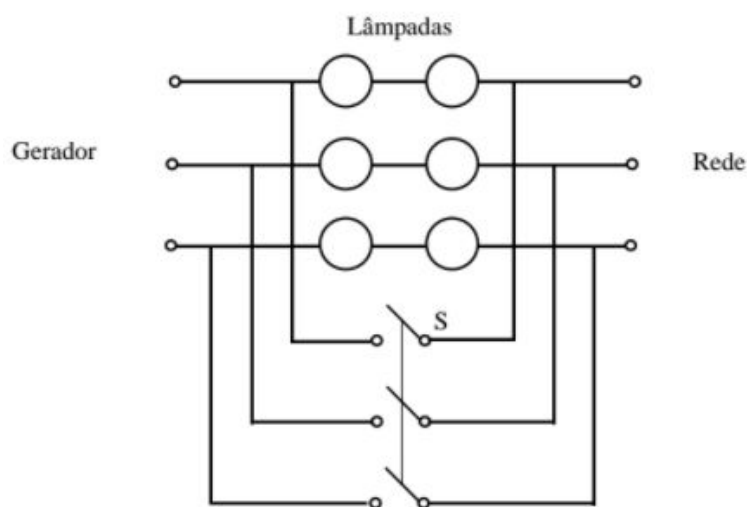


FIGURA 3 : PARALELISMO COM A REDE

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

- 3) Partir o motor CC ajustando o seu campo, anotando a sua velocidade de regime permanente;
- 4) Ajustar a tensão do gerador síncrono para o valor da tensão da rede, por meio da variação de  $I_F$ ;
- 5) Com o auxílio das lâmpadas, verificar se a sequência de fases é a mesma para o gerador e para a rede. Neste caso, todas as lâmpadas têm a mesma intensidade luminosa e acendem e apagam ao mesmo tempo;
- 6) Quando as lâmpadas permanecerem apagadas por um longo período, fechar a chave S para conectar o gerador à rede, estabelecendo o paralelismo entre eles.

### Relatório 6 e 7

- 1) No projeto da academia sustentável, é necessário o paralelismo do gerador com a rede. Com base com o que foi feito da Atividade 3 do experimento, explique as quatro condições necessárias para se efetuar o paralelismo dos geradores com a rede. Descreva como foi feito o passo a passo do procedimento.
- 2) Plote as curvas de tensão gerada x corrente de campo e corrente de curto-circuito x corrente de campo. Os valores encontrados eram esperados? Justifique sua resposta.
- 3) Calcule a relação de curto-circuito e a impedância síncrona saturada para a corrente nominal e para metade deste valor.
- 4) No projeto da academia, temos um sistema com uma entrada variável. Afinal, não tem como garantir que as pessoas pedalaram na mesma rotação durante todo o tempo. Porém, não é desejado que a saída varie (já foi visto a importância da regulação de tensão). Os alternadores de carro possuem um regulador de tensão para proteger seus componentes. Explique quais os parâmetros do sistema que sustentam  $V_T$  constante?
- 5) Como as ligações Y e  $\Delta$  influenciam na tensão do gerador?
- 6) Qual limitação física da máquina dos seus enrolamentos que influenciam diretamente na regulação da tensão terminal do gerador?
- 7) Faça um esquema de blocos dos componentes que você usaria para um projeto de academia sustentável.

## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### **Aplicação: compensadores síncronos**

No sistema elétrico, existem equipamentos que servem para consumir os reativos em regime permanente a fim de controlar as tensões do sistema. Banco de reatores e de capacitores consomem as capacitâncias parasitas e reatância indutiva das linhas, respectivamente. As máquinas síncronas são bastante versáteis pois elas podem tanto absorver quanto fornecer potência reativa para as linhas.

Quando se tem uma queda de tensão abaixo do nível pré-determinado, a corrente de excitação aumenta e a máquina injeta reativos para subir o nível de tensão do sistema. Já quando a tensão sobe além do determinado, a corrente de excitação diminui e o compensador absorve reativos para diminuir a tensão. No primeiro caso, o motor está sobre-excitado e no segundo o motor está sub-excitado. O controle de potência ativa é feito pelo controle da potência mecânica entregue no eixo do motor. Note que o conjugado não depende da potência reativa, mas apenas da potência ativa.



COMPENSADORES SÍNCRONOS ROTATIVOS DA WEG

Qual é o parâmetro que controla a potência reativa? Como os compensadores síncronos conseguem ora absorver ora fornecer potência reativa?



## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO DE ENERGIA

### Roteiro 8

O objetivo desse experimento é plotar o gráfico de curva V. Utilize uma máquina síncrona (que será o motor) e uma máquina de corrente contínua (que será o gerador). Conte com o auxílio dos roteiros anteriores para fazer as ligações corretas.

Pense nos parâmetros que você vai variar. Verifique as grandezas que devem ser medidas durante todo o experimento. Anote os dados de placa.

Lembre-se que o objetivo do seu projeto é correção de fator de potência. Por isso, deve-se medir potência e medir fase (use um fasímetro).

Por limitações técnicas do laboratório, a análise da curva V deve ser realizada a vazio ( $I_L=0$ ) e a meia-carga ( $I_L=0,8$  A).

Provavelmente, será obtido apenas uma região do gráfico da curva V.

Antes de ligar a bancada, explique o procedimento feito pelo grupo para o professor ou monitor.

### Relatório 8

Relatar o passo a passo feito no experimento para a obtenção da curva V. Fazer um esquemático do circuito, os equipamentos utilizados e as tabelas com os dados experimentais. Coloque seus cálculos em um código do MATLAB para facilitar a análise.